



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΟΜΕΙΣ ΑΙΧΜΗΣ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ  
ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΟΠΩΡΟΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ  
& ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Επίδραση απολυμαντικών χειρισμών UV-C και όζοντος  
στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κομμένου μαρουλιού

**Αναστασία Ε. Σαμιώτη**

Επιβλέπων καθηγητής:

Γεώργιος Ξανθόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ  
2022**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Επίδραση απολυμαντικών χειρισμών UV-C και όζοντος  
στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κομμένου μαρουλιού

“Effect of UV-C and ozone disinfection treatments on the sensory  
characteristics of fresh-cut lettuce”

**Αναστασία Ε. Σαμιώτη**

Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Ξανθόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Ελένη Τσαντίλη, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Ιωάννης Καραπάνος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

## **Επίδραση απολυμαντικών χειρισμών UV-C και όζοντος στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κομμένου μαρουλιού**

*ΠΜΣ Τομείς Αιχμής & Καινοτόμες Εφαρμογές στην Παραγωγή & Συντήρηση  
Οπωροκηπευτικών & Ανθοκομικών Ειδών  
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής  
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας*

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε νωπό κομμένο μαρούλι ποικιλίας 'Romaine' (*Lactuca sativa*) το οποίο υπέστη χειρισμούς με υπεριώδη ακτινοβολία UV-C (254nm) σε τρεις διαφορετικές πυκνότητες ενέργειας ακτινοβολίας 0.41, 0.82 και 1.65 kJ/m<sup>2</sup>, με αέριο O<sub>3</sub> συγκέντρωσης 5.0 ppm για 5 λεπτά, καθώς και με συνδυασμό τους (UV-C +O<sub>3</sub>). Στη συνέχεια κάθε πειραματική σειρά αποθηκεύτηκε ασυσκεύαστη για 5 ημέρες στους 5.7 °C και 91.95% υγρασία.

Οι εφαρμογές των O<sub>3</sub>, UV-C και ο συνδυασμός (UV-C +O<sub>3</sub>) έδωσαν καλά αποτελέσματα όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Μεμονωμένοι ή σε συνδυασμό οι χειρισμοί απέτρεψαν την απώλεια μάζας σε όλη την διάρκεια της συντήρησης σε σύγκριση με τα δείγματα του μάρτυρα. Ο συνδυασμός των χειρισμών O<sub>3</sub> και UV-C πέτυχε μικρότερη απώλεια μάζας κατά 20% (μέγιστες ποσότητες) σε σύγκριση με άλλους χειρισμούς καθώς και τα δείγματα του μάρτυρα.

Ο ρυθμός αναπνοής αυξήθηκε και στους μεμονωμένους αλλά και στους συνδυαστικούς χειρισμούς ειδικότερα με την εφαρμογή της UV-C ακτινοβολίας. Η έκθεση σε ακτινοβολία UV-C με πυκνότητα ενέργειας <1.65 kJ/m<sup>2</sup> και συγκέντρωση O<sub>3</sub> 5 ppm για πέντε λεπτά εφαρμογής πέτυχε καλή ποιότητα στην υφή, όσον αφορά την τραγανότητα. Η τραγανότητα των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν αυξήθηκε κατά 35% σε σύγκριση με τον μάρτυρα, ειδικότερα για τον συνδυασμό UV-C+O<sub>3</sub>. Παρατηρήθηκε περιορισμένος αποχρωματισμός καθώς η πυκνότητα ενέργειας της ακτινοβολίας UV-C, και η συγκέντρωση O<sub>3</sub> και οι δόσεις τους διατηρήθηκαν κάτω από τα όρια πυκνότητας ενέργειας UV-C <5kJ/m<sup>2</sup> και συγκέντρωσης O<sub>3</sub> <5 ppm για τα οποία έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία υποβάθμιση της ποιότητας.

**Επιστημονική περιοχή:** Μετασυλλεκτική τεχνολογία

**Λέξεις κλειδιά:** Κομμένο μαρούλι, όζον, ακτινοβολία UV-C, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

## **Effect of UV-C and ozone disinfection treatments on the sensory characteristics of fresh-cut lettuce**

*MSc Top Sectors and Innovative Applications in Production and Maintenance of Fruit, Vegetable and Floricultural Species*

*Department of Crop Science*

*Laboratory of Farm machine systems*

### **ABSTRACT**

Fresh-cut 'Romaine' lettuce (*Lactuca sativa*) was exposed to three fluencies 0.41, 0.82 and 1.65 kJ/m<sup>2</sup> of ultraviolet-C (254nm) radiation, to gaseous O<sub>3</sub> concentration of 5.0 ppm for 5 min, and their combination and finally stored unpackaged for 5 days at 5.7°C and 91.95%.

The applications of O<sub>3</sub>, UV-C and their combinations (UV-C+O<sub>3</sub>) gave good results in terms of quality characteristics preservation. Individual or combined treatments prevented mass loss throughout the cold storage compared to control samples. The combined treatment of UV-C with O<sub>3</sub> achieved 20% less mass loss (maximum values) compared to the other tested treatments and control samples.

Respiration rate was increased in individual a combined treatments especially in the case of UV-C application. The UV-C fluence < 1.65 kJ/m<sup>2</sup> and O<sub>3</sub> concentration 5 ppm for 5 min applications achieved good texture quality in terms of positive peaks (crispness). The crispness of the treated samples was increased by 35% compared to control samples especially for the UV-C + O<sub>3</sub> combination. Limited colour degradation was noted since the UV-C fluence and O<sub>3</sub> concentration and dosage was kept below the limits of UV-C fluence < 5 kJ/m<sup>2</sup> and O<sub>3</sub> concentration < 5 ppm for which quality degradation have been reported in literature.

**Scientific area:** Postharvest technology

**Keywords:** Fresh cut lettuce, ozon, UV-C radiation, sensory characteristics

# Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ABSTRACT .....	4
1. Εισαγωγή .....	1
1.1 Μαρούλι .....	1
1.2 Κομμένη σαλάτα .....	1
1.3 Απώλεια μάζας.....	3
1.3.1 Γενικά.....	3
1.3.2 Απώλεια υγρασίας.....	4
1.3.3 Έλλειμμα πίεσης υδρατμών .....	4
1.3.4 Αναπνοή.....	5
1.3.5 Διαπνοή.....	7
1.4 Απολύμανση .....	8
1.4.1 UV-C.....	10
1.4.2 Όζον .....	12
1.5 Ποιότητα τροφίμων και ποιοτικά χαρακτηριστικά.....	14
1.5.1 Υφή .....	14
1.5.2 Χρώμα.....	16
2. Πειραματικό μέρος .....	21
2.1 Σκοπός της εργασίας .....	21
2.2 Φυτική ύλη.....	21
2.3 Χειρισμοί επεξεργασίας μαρουλιού .....	21
2.4 Πειραματική διαδικασία .....	23
2.4.1 Προσδιορισμός απώλειας μάζας .....	24
2.4.2. Εκτίμηση όγκου .....	25
2.4.3 Μέτρηση χρώματος.....	25
2.4.4. Υφή .....	26
2.4.5. Υπολογισμός αναπνευστικού ρυθμού .....	28
2.4.6. Καταγραφή πειραματικών δεδομένων και στατιστική ανάλυση .....	30
2.4.6.1 Κατανομή Weibull .....	31
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	33
3.1 Ρυθμός αναπνοής και απώλεια μάζας .....	33
3.2 Ποσοτικοποίηση των απωλειών νερού από διαπνοή και αναπνοή .....	38
3.3 Υφή .....	39

3.4 Χρώμα.....	43
4. Συμπεράσματα .....	49
5. Βιβλιογραφία.....	50

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Μαρούλι

Το μαρούλι (*Lactuca sativa*) ανήκει στα ποώδη φυτά και στην οικογένεια των Asteraceae (Compositae). Οι πιο διαδεδομένοι καλλιεργήσιμοι τύποι μαρουλιού στην Ελλάδα είναι τα ρωμαϊκά (Romaine, ρομάνα), τα κατσαρά, τα φυλλώδη και τα κεφαλωτά (Iceberg) (Μπίτζας, 2020).

Ο πιο διαδεδομένος τύπος μαρουλιού με την μεγαλύτερη κατανάλωση είναι το ρομάνα λόγω της γεύσης, της τραγανότητας, του καλού αρώματος καθώς και της φρέσκιας εμφάνισής του (Sanchez κ.ά., 2010). Επίσης είναι το πλουσιότερο σε θρεπτικά συστατικά από όλες τις ποικιλίες και είναι μια εξαιρετική πηγή βιταμινών A, B1, B2, C, φολικού οξέος, μαγγανίου και χρωμίου (Μπίτζας, 2020). Μια από τις κύριες αιτίες υποβάθμισης της ποιότητας του φρέσκου κομμένου μαρουλιού και ειδικότερα της ποικιλίας Romaine είναι η καστάνωση, κυρίως μετά τον τεμαχισμό. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει πιο γρήγορα, και χωρίς τη δυνατότητα ελέγχου, από ότι σε άλλους τύπους μαρουλιού όπως στο Iceberg. Έχει απασχολήσει πολύ και μελετηθεί για το πώς μπορεί να περιορισθεί με χημικές επεξεργασίες όπως αναστολείς ενζύμων, συμπλοκοποιητικούς παράγοντες, αναγωγικούς, οξειδωτικούς παράγοντες και οξινιστές. Ωστόσο υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τις χημικές τοξικότητες που μπορούν να προκληθούν στα φρέσκα προϊόντα και για αυτό μελετούνται άλλες μέθοδοι καταπολέμησης της καστάνωσης (Sanchez κ.ά., 2010).



Εικόνα 1: Μαρούλι ποικιλίας Romaine. (Πηγή:Seedsnpots, 2022)

### 1.2 Κομμένη σαλάτα

Τα φυλλώδη λαχανικά, αποθηκεύονται γενικά στους 0-7 °C. Τα βλαστικά λαχανικά όπως το μαρούλι, η πατάτα, τα κρεμμύδια κ.ά., είναι πλούσια σε άμυλο, σάκχαρα και πρωτεΐνες και έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό. Οι κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης, κατάλληλες για τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των οπωροκηπευτικών, μπορούν να ενισχύσουν τη διατήρηση της φρεσκάδας. Η αποθήκευση στις ατμοσφαιρικές συνθήκες ενός ψυκτικού θαλάμου δεν είναι

απαραίτητα κατάλληλη για κάθε λαχανικό και εξαρτάται από τα διαφορετικά φυσιολογικά χαρακτηριστικά τους (Fang and Wakisaka, 2021).

Τα τελευταία χρόνια, τα φρέσκα προϊόντα έχουν γίνει πιο δημοφιλή λόγω της ευκολίας στη χρήση τους, της γεύσης και της φρεσκάδας τους (Fan and Song, 2008). Ο τρόπος ζωής των ανθρώπων έχει αλλάξει και η ανθρώπινη διατροφή έχει οδηγηθεί στα έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα (Ferrante κ.ά., 2008). Αποτελούν ένα ιδανικό γεύμα για τον σύγχρονο τρόπο ζωής, γιατί δεν χρειάζονται ιδιαίτερη προετοιμασία και επιπλέον παρέχουν ποικιλία θρεπτικών συστατικών, βιταμινών και μετάλλων. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της βιομηχανίας των φρέσκων κομμένων λαχανικών είναι ο μαρασμός, η μικροβιακή αλλοίωση και το μαύρισμα της κομμένης επιφάνειας. Οι αλλαγές αυτές ενισχύονται από τα στάδια επεξεργασίας όπως το πλύσιμο και το κόψιμο (Taria κ.ά., 2015). Η πλύση ή η απολύμανση πραγματοποιείται για την απομάκρυνση της βρωμιάς, των υπολειμμάτων των φυτοφαρμάκων και των μικροοργανισμών που ευθύνονται για την απώλεια ποιότητας και αποσύνθεσης. Παρόλο που το πλύσιμο μπορεί να αφαιρέσει κάποιους από τους μικροοργανισμούς της επιφάνειας, δεν μπορεί να τους αφαιρέσει όλους. Το νερό είναι ένα από τα βασικά στοιχεία της διατήρησης της ποιότητας και της ασφάλειας των φρέσκων προϊόντων. Το πλύσιμο μόνο με νερό αφαιρεί μόνο το ελεύθερο κυτταρικό περιεχόμενο που απελευθερώνεται κατά την κοπή (Gil Munoz κ.ά., 2010).

Τα φρέσκα κομμένα φρούτα και λαχανικά αποτελούνται από κύτταρα που φθείρονται φυσικά με την πάροδο του χρόνου και επηρεάζονται από την προετοιμασία, τις συνθήκες μετά την συγκομιδή, την επεξεργασία και τον χρόνο αποθήκευσης. Η αλλοίωση των φρέσκων φρούτων και λαχανικών μπορεί να εντοπιστεί με δύο τρόπους, ο ένας είναι η φυσιολογική βλάβη που οφείλεται στη μεταβολική και ενζυμική δραστηριότητα του ιστού των φυτών και ο άλλος είναι η μικροβιολογική αλλοίωση λόγω μικροβιακής αύξησης. Τα φρούτα και τα λαχανικά ιδιαίτερα οι σαλάτες καταναλώνονται ωμά και αυτά αναγνωρίζονται ως σημαντικά μέσα μετάδοσης παθογόνων μικροοργανισμών (Taria κ.ά., 2015).

Η ποιότητα των φυλλωδών λαχανικών διακρίνεται σε εσωτερική και εξωτερική. Η εσωτερική ποιότητα αποτελείται από βιταμίνες, μέταλλα, αντιοξειδωτικά και λειτουργικά στοιχεία (πολυφαινόλες, καροτενοειδή κ.λπ.). Η εξωτερική ποιότητα μπορεί να χωριστεί σε ορατά και μη ορατά συστατικά. Στα μη ορατά υπάγονται η απουσία ανθρώπινων παθογόνων παραγόντων, υπολειμμάτων φαρμάκων ή άλλων χημικών προϊόντων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία. Το μεγαλύτερο μέρος των μεταβολικών διεργασιών που προκαλούν απώλειες ποιότητας εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, επομένως οι καλές εγκαταστάσεις αποθήκευσης μπορούν να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή των ελάχιστα επεξεργασμένων λαχανικών (Ferrante κ.ά., 2008).

Τα κομμένα νωπά προϊόντα είναι πολύ ευάλωτα όσον αφορά τη φυσιολογική και μικροβιολογική σταθερότητα λόγω της απουσίας θερμικής διαδικασίας για την αδρανοποίηση ενζύμων, που οδηγούν σε ποιοτική υποβάθμιση του προϊόντος, και



λανθανουσών μολύνσεων. Αμέσως μετά τη συγκομιδή είναι απαραίτητη μια ελάχιστη διαδικασία για την απομάκρυνση της θερμότητας του προϊόντος, με τεχνικές πρόψυξης, καθώς και να πραγματοποιηθεί η απαραίτητη απολύμανση των επιφανειών κοπής, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η μικροβιακή σταθερότητα κατά την αποθήκευση (Chauhan κ.ά., 2007).

Τέλος, τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά πρέπει να έχουν ελκυστική εμφάνιση, αποδεκτή γεύση, κατάλληλη υφή και θετική διατροφική εικόνα για να προσελκύσουν τις αρχικές και συνεχείς αγορές από τους καταναλωτές. Οι καταναλωτές συχνά αγοράζουν την πρώτη φορά με βάση την εμφάνιση, αλλά οι επαναλαμβανόμενες αγορές καθορίζονται από αναμενόμενους ποιοτικούς παράγοντες που καθορίζονται από τη γεύση και την υφή. Τα προϊόντα θα πρέπει να είναι καθαρά, χωρίς ενδείξεις ρύπων ή οσμές χλωρίου ή άλλων απολυμαντικών. Όλο το περιεχόμενο της συσκευασίας πρέπει να είναι βρώσιμο και να μην απαιτούνται άλλα βήματα προετοιμασίας εκτός από τη μεταφορά από τη συσκευασία στο πιάτο (Barrett κ.ά., 2010).

## **1.3 Απώλεια μάζας**

### **1.3.1 Γενικά**

Φρούτα και λαχανικά αποτελούν ένα από τα βασικότερα συστατικά της διατροφής του ανθρώπου με την κατανάλωσή τους, να αυξάνεται ετησίως λόγω του ενδιαφέροντος των καταναλωτών να τρέφονται υγιεινά. Μετά τη συγκομιδή είναι ευαίσθητα στην απώλεια υγρασίας, στην μηχανική βλάβη και την μικροβιακή μόλυνση. Η απώλεια υγρασίας μετά την συγκομιδή επηρεάζει την ωρίμανση, η οποία συνδέεται άμεσα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων (βάρος, υφή, κ.ά.) (Esua κ.ά., 2020). Η εμπορευσιμότητα των διαφόρων προϊόντων μπορεί να μειωθεί λόγω πολλών διεργασιών όπως η διαπνοή, η σήψη, η υπερωρίμανση και άλλων μη επιθυμητών φυσιολογικών διεργασιών, όπως οι μεταβολικές διαδικασίες που οδηγούν σε αλλαγές στη σύνθεση, των ασθενειών ψύχους (chilling injuries), γενικά των φυσιολογικών διαταραχών-ασθενειών (physiological disorders) και τέλος των μηχανικών τραυμάτων. Η σημαντικότητα αυτών των αιτιών αλλοίωσης εξαρτάται από το ίδιο το προϊόν. Ο κύριος σκοπός της αποθήκευσης είναι να περιοριστούν οι απώλειες νερού (water loss) από τα προϊόντα λόγω διαπνοής η οποία μπορεί να προκαλέσει μαλάκωμα ιστών (tissue softening), φυσιολογικές διαταραχές (physiological disorders) και μολύνσεις από μύκητες. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να μειώσουν την ποιότητα της παραγωγής και την εμπορευσιμότητα (marketability) των προϊόντων. Η συγκομιζόμενη παραγωγή παραμένει φρέσκια μόνο για όσο μπορεί να συγκρατήσει νερό. Η διαπνοή είναι μια από τις κύριες διαδικασίες που επηρεάζουν την εμπορική και φυσιολογική αλλοίωση των λαχανικών και των φρούτων, καθώς μέσω των απωλειών υγρασίας επέρχεται ο μαρασμός, η συρρίκνωση (shriveling), η απώλεια σκληρότητας (firmness), τραγανότητας (crispness) και γευστικότητας (succulence) δηλαδή τα συστατικά της

φρεσκάδας. Η αφυδάτωση που προκαλείται από την απώλεια υγρασίας μειώνει την εμπορική αξία του προϊόντος και επηρεάζει αρνητικά την εμφάνισή του, την υφή, τη γεύση και το βάρος οι οποίοι είναι παράγοντες που καθορίζουν την τιμή του προϊόντος. Τα περισσότερα προϊόντα καθίστανται μη εμπορεύσιμα μετά από απώλειες 3-10% του βάρους τους (Λέντζου, 2013).

Τα μαρούλια, όπως και τα περισσότερα νωπά προϊόντα, χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε νερό (περίπου 85% ΦΚ) και κατά την συντήρησή τους συχνά παρατηρείται σημαντική απώλεια μάζας που κυρίως αποδίδεται σε απώλεια νερού (Μπίτζας, 2020).

Η απώλεια μάζας κατά την ψυχοσυντήρηση οφείλεται στην αθροιστική επίδραση της απώλειας νερού λόγω εξάτμισης (έλλειμμα πίεσης υδρατμών) όσο και της απώλειας νερού λόγω της αναπνοής όπως φαίνεται στην σχέση:

$$ML=WL+RL \quad (1)$$

όπου ML ο συνολικός ρυθμός απώλειας νερού, WL ο ρυθμός απώλειας νερού οφειλόμενος στο έλλειμμα πίεσης υδρατμών και RL ο ρυθμός απώλειας νερού λόγω αναπνοής (Τεμπλαλέξης, 2015).

### 1.3.2 Απώλεια υγρασίας

Η απώλεια υγρασίας προκαλεί φυσιολογική καταπόνηση (physiological stress) η οποία έχει αποδειχθεί ότι τελικά επιταχύνει τη γήρανση (senescence). Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη διάρκεια μετασυλλεκτικής ζωής η περιεχόμενη υγρασία του προϊόντος θα πρέπει να διατηρείται σε ένα βέλτιστο επίπεδο. Η μετά τη συγκομιδή διάρκεια ζωής των περισσότερων νωπών προϊόντων υψηλής περιεχόμενης υγρασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την υγρασία του περιβάλλοντα αέρα συντήρησης η οποία θα πρέπει να κυμαίνεται στο 90-95% εκτός και αν υπάρχει κίνδυνος συμπύκνωσης ατμοσφαιρικής υγρασίας πάνω στο προϊόν (Αλειφέρης, 2016).

### 1.3.3 Έλλειμμα πίεσης υδρατμών

Το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (WVPD) εξαρτάται από την πίεση των υδρατμών στην επιφάνεια του λαχανικού και την αντίστοιχη πίεση των υδρατμών στο περιβάλλον. Η πίεση των υδρατμών στο περιβάλλον εξαρτάται τόσο από τη σχετική υγρασία όσο και από την θερμοκρασία του αέρα.

Το διεθνές σύστημα μονάδων (SI) έχει θέσει ως μονάδα έκφρασης για το WVP το Pascal (Pa), αλλά συχνά χρησιμοποιείται και το milibar (mbar=100Pa). Η πρότυπη ατμοσφαιρική πίεση ισούται με 101.325kPa, 1.01325bar ή 760 mmHg.

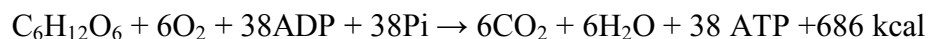
Η σχετική υγρασία (RH, Relative Humidity) είναι ίσως ο πιο γνωστός θερμοδυναμικός όρος για την έκφραση του νερού που περιέχεται στον αέρα.

Ορίζεται ως ο λόγος της μερικής πίεσης υδρατμών (WVP) στον αέρα και της αντίστοιχης πίεσης (WVP) στον κορεσμό σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Από τον ορισμό φαίνεται ότι η σχετική υγρασία είναι συνάρτηση όχι μόνο της ποσότητας των υδρατμών στον αέρα αλλά και της θερμοκρασίας. Η πίεση των υδρατμών (WVP) των μεσοκυττάρων διαστημάτων σε νωπά φυτικά όργανα είναι πολύ κοντά στον κορεσμό. Η θερμοκρασία επηρεάζει την πίεση των υδρατμών (WVP) του φυτικού ιστού.

Η επίδραση της υγρασίας του αέρα στην απώλεια νερού είναι σημαντική. Ακόμη και μικρές σχετικά διαφορές υγρασίας σε συγκεκριμένη θερμοκρασία μπορούν να προκαλέσουν ικανό έλλειμμα πίεσης υδρατμών (VPD) και αντίστοιχη διαφορά στο ρυθμό απωλειών νερού. Για να διατηρηθεί σταθερό το περιεχόμενο νερό, στα οπωρολαχανικά θα πρέπει η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο υγρασιακό περιεχόμενο των οπωρολαχανικών το οποίο είναι περίπου 85-95% ΦΚ. (Τεμπλαλέξης, 2015)

#### 1.3.4 Αναπνοή

Η αναπνοή είναι μια μεταβολική διαδικασία που παρέχει ενέργεια. Υπάρχουν δύο είδη αναπνοής η αερόβια και η αναερόβια αναπνοή. Η αερόβια αναπνοή συνίσταται στην οξειδωτική διάσπαση των οργανικών αποθεμάτων σε απλούστερα μόρια, συμπεριλαμβανομένου του CO<sub>2</sub> και του νερού, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας. Η αναερόβια αναπνοή έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αιθανόλης με αποκαρβοξυλίωση του πυροσταφυλικού άλατος σε CO<sub>2</sub> χωρίς κατανάλωση O<sub>2</sub> κατά τον μεταβολισμό της ζύμωσης. Η αναερόβια αναπνοή είναι ανεπιθύμητη κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των λαχανικών, επειδή οι μεγάλες ποσότητες αιθανόλης, ακεταλδεϋδης και άλλων ουσιών που συσσωρεύονται παράγουν μια δυσάρεστη οσμή. Έτσι ο έλεγχος της αναπνοής είναι μια βασική διαδικασία για την μείωση της απώλειας και της διατήρησης της ποιότητας (Fang and Wakisaka, 2021). Η αναπνοή ή βιολογική οξείδωση είναι η οξειδωτική λύση περίπλοκων μορίων υποστρώματος των φυτικών ιστών, συνήθως άμυλο, σάκχαρα και οργανικά οξέα, σε απλούστερα μόρια όπως το CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O. Ταυτόχρονα με την καταβολική αντίδραση λαμβάνει χώρα παραγωγή ενέργειας και ενδιάμεσων ενώσεων που απαιτούνται για την διατήρηση των πολυάριθμων αναερόβιων αντιδράσεων οι οποίες είναι απαραίτητες για την κυτταρική οργάνωση και την ακεραιότητα των μεμβρανών των ζωντανών κυττάρων. Η διατήρηση επαρκούς εφοδιασμού με τριφωσφορική αδενοσίνη είναι ο πρωταρχικός σκοπός της αναπνοής. Όλη η διαδικασία της αερόβιας αναπνοής περιλαμβάνει την επαναδημιουργία της ATP από ADP (διφωσφορική αδενοσίνη) και Pi (ανόργανο φωσφορικό άλας) με την απελευθέρωση CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O. Εάν χρησιμοποιείται σάκχαρο σε μορφή εξόζης τότε η αντίδραση παίρνει την μορφή:



Οι συνιστώσες αυτής της αντίδρασης έχουν διαφορετικές πηγές και προορισμούς. Το 1 mole γλυκόζης (180g) μπορεί να προέρχεται από αποθηκευμένα σάκχαρα (π.χ., γλυκόζη, σουκρόζη, φρουκτόζη) ή πολύπλοκους πολυσακχαρίτες όπως το άμυλο. Τα λίπη και οι πρωτεΐνες επίσης αποτελούν μέρος του υποστρώματος για την αναπνοή αλλά τα παράγωγά τους (λιπαρά οξέα, γλυκερόλη και τα αμινοξέα) εισέρχονται στην διαδικασία στα τελευταία στάδια ως μικρότερα, μερικώς μεταβολισμένα μόρια. Τα 192 g του O<sub>2</sub> (6 moles x 32g/mole) που χρησιμοποιούνται για την οξείδωση 1 mole γλυκόζης διαχέονται μέσα στον ιστό από την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα, ενώ τα 6 moles του CO<sub>2</sub> (264 g) διαχέονται εξωτερικά των ιστών. Τα 6 moles του νερού (108 g) που παράγονται ενσωματώνονται στο υδατικό διάλυμα των κυττάρων. Υπάρχουν 3 πιθανές καταλήξεις για την ενέργεια (686 kcal/ mole γλυκόζης) από την αερόβια αναπνοή. Περίπου 13kcal χάνονται λόγω αύξησης της εντροπίας όταν το σύνθετο μόριο της γλυκόζης διασπάται σε απλούστερα. Από τα 673 kcal που απομένουν, τα 281 kcal (περίπου το 41% της συνολικής ενέργειας που παράγεται) χρησιμοποιείται για την παραγωγή 38 μορίων ATP απελευθερώνεται και ένα ποσοστό χάνεται κάθε φορά που συμβαίνει μια διαδοχική αντίδραση όπου μεταφέρεται η ενέργεια. Αυτές οι τιμές έχουν προσδιοριστεί από θερμοδομετρικές εξετάσεις διαφόρων φυτικών οργάνων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αναπνοή διακρίνονται σε εσωτερικούς ή παράγοντες του προϊόντος και στους εξωτερικούς ή περιβαλλοντικούς παράγοντες. Στους εσωτερικούς παράγοντες υπάγονται το είδος και ο γενότυπος του προϊόντος, οι διαφορές στον λόγο επιφάνειας-όγκου, το στάδιο ωρίμανσης κατά την συγκομιδή, η χημική σύσταση ενώ στους εξωτερικούς παράγοντες υπάγονται η θερμοκρασία που έχει την μεγαλύτερη σημασία στη διάρκεια ζωής των οπωρολαχανικών μετά τη συγκομιδή λόγω της σημαντικότητας επίδρασης στις βιολογικές αντιδράσεις, η συγκέντρωση του O<sub>2</sub> στο περιβάλλον όπου όσο μειώνεται η συγκέντρωσή του στον ατμοσφαιρικό αέρα (20.9%) και συγκεκριμένα σε χαμηλότερα επίπεδα του 10%, εμφανίζεται σημαντική μείωση του αναπνευστικού ρυθμού, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα, η συγκέντρωση του αιθυλενίου κυρίως για τα κλιμακτηριακά είδη, οι καταπονήσεις όπως οι μώλωπες και οι τραυματισμοί προκαλούν αύξηση του αναπνευστικού ρυθμού, ιδιαίτερα σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες συντήρησης (Τεμπλαλέξης, 2015).

Αύξηση της αναπνοής οδηγεί σε υπερβολική κατανάλωση θρεπτικών συστατικών, επιταχύνοντας έτσι τη γήρανση των οπωροκηπευτικών μειώνοντας τη διάρκεια ζωής τους. Ο έλεγχος της αναπνοής και της μικροβιακής ανάπτυξης με την χρήση ελέγχου της ατμόσφαιρας είναι απαραίτητος για την αποθήκευση (Gil Munoz κ.ά., 2010).

### 1.3.5 Διαπνοή

Διαπνοή είναι η απώλεια νερού υπό μορφή υδρατμών από τους φυτικούς ιστούς (Σφακιωτάκης, 2004). Απώλεια υγρασίας ως αποτέλεσμα της διαπνοής κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα και την εμπορευσιμότητα ευαίσθητων προϊόντων όπως είναι τα φρούτα και τα λαχανικά. Μετά την συγκομιδή, τα φρέσκα λαχανικά και φρούτα τείνουν να χάνουν υγρασία μέσω του φλοιού, των στοματίων, της κηρώδους επιφάνειας και άλλων δομικών συστατικών τους, ειδικά όταν η γύρω ατμόσφαιρα έχει χαμηλή σχετική υγρασία. Η διαπνοή προκαλείται από μια διαφορά στην πίεση υδρατμών μεταξύ της επιφάνειας του προϊόντος και του περιβάλλοντος. Τα ελάχιστα επεξεργασμένα νωπά προϊόντα είναι πιο επιρρεπή στην υποβάθμιση της ποιότητας από τα ολόκληρα προϊόντα λόγω των αυξημένων ρυθμών διαπνοής που προκαλούνται από την αυξημένη αναλογία επιφάνειας όγκου. (Giannakourou and Tsironi, 2021). Η διαδικασία της διαπνοής είναι συχνά η κυριότερη αιτία απώλειας μάζας μετά τη συγκομιδή (Fang and Wakisaka, 2021) και υποβάθμισης της ποιότητας των φυλλωδών λαχανικών, όπως το μαρούλι, το λάχανο και το σπανάκι, αλλά και αρκετών φρούτων. Ως μια από τις κύριες φυσιολογικές λειτουργίες, επηρεάζει την εμπορική και φυσιολογική φθορά των νωπών φρούτων και λαχανικών. Οι απώλειες νερού προκαλούν αφυδάτωση, η οποία είναι υπεύθυνη για μεταβολές στην εμφάνιση, τη γεύση, τη σύσταση και το βάρος του προϊόντος. Κατά συνέπεια επηρεάζεται και η εμπορική τιμή του προϊόντος. Εκτός από αφυδάτωση, η διαπνοή προκαλεί συρρίκνωση που δρα αρνητικά σε ορισμένες ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τη φρεσκάδα των φρούτων και των λαχανικών, όπως είναι η συνεκτικότητα και η τραγανότητα (Σφακιωτάκης, 2004). Οι απώλειες υγρασίας και ταυτόχρονα οι απώλειες βάρους έχουν έντονο οικονομικό ενδιαφέρον ως προς την εμπορευσιμότητα των προϊόντων, καθώς ο περιορισμός τους μπορεί να αποτρέψει την απώλεια σημαντικού εμπορεύσιμου βάρους. Παράλληλα, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή να μην εμφανίζεται περίσσεια υγρασία, η οποία ευνοεί την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μέγιστες επιτρεπτές απώλειες βάρους, πάνω από τις οποίες το προϊόν κρίνεται ως ακατάλληλο για εμπορία (Σφακιωτάκης, 2004).

Η διαπνοή αποτελεί τις απώλειες νερού από τους φυτικούς ιστούς υπό τη μορφή υδρατμών. Τα οπωροκηπευτικά προϊόντα όσο αποτελούν μέρος του μητρικού τους φυτού, αναπληρώνουν τις απώλειες σε νερό μέσω του ριζικού τους συστήματος. Από τη στιγμή που θα συγκομισθούν τα προϊόντα συνεχίζουν να διαπνέουν, χωρίς όμως να μπορούν να αναπληρώσουν τις υδατικές απώλειες, οι οποίες ισοδυναμούν σε απώλειες βάρους. Αυτές οι απώλειες προκαλούνται από την εξάτμιση νερού από τους μεσοκυττάρους χώρους των ιστών του προϊόντος.

### **Πίνακας 1:** Μέγιστες επιτρεπόμενες απώλειες μάζας.

Είδος προϊόντος	Μέγιστη απώλεια μάζας (%)
Αγγούρια	5
Κουνουπίδια	7
Λάχανα	7
Μαρούλια κοινά	5
Μαρούλια κατσαρά	3
Μαρούλια κεφαλωτά	4
Μπρόκολα	4
Πατάτες	7
Σπανάκι	3
Σπαράγγια	8
Τομάτα	7

(Πηγή: Σφακιωτάκης, 2004)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό διαπνοής και τις απώλειες νερού διακρίνονται σε:

- Εσωτερικούς παράγοντες: μορφολογικά και ανατομικά χαρακτηριστικά, αναπνοή, σχέση επιφάνεια προς όγκο, είδος επιφανειακών κυττάρων του προϊόντος (αντίσταση επιδερμίδας), βλάβες από μηχανικά αίτια
- Εξωτερικούς παράγοντες: έλλειμμα πίεσης υδρατμών, κίνηση του αέρα πάνω από το προϊόν (μειώνει το διαχυτικό οριακό στρώμα), θερμοκρασία του αέρα (επηρεάζει το έλλειμμα πίεσης υδρατμών) (Σφακιωτάκης, 2004).

Μετά την συγκομιδή, τα προϊόντα πρέπει να χρησιμοποιούν αποκλειστικά την εσωτερική τους υγρασία. Το νερό που χάνεται μέσω της διαπνοής δεν μπορεί να αντικατασταθεί. Αν και οι φυτικοί ιστοί αποτελούνται κυρίως από νερό, ακόμη και μικρές αλλαγές στην περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην ποιότητα της παραγωγής, προκαλώντας σημαντικές απώλειες, ακόμα και μέσα σε λίγες ώρες υπό ξηρές και ζεστές συνθήκες. Τα φυλλώδη λαχανικά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αφυδάτωση (desiccation) λόγω των μεγάλων αναλογιών επιφάνειας προς όγκο (Garcia and Barrett, 2002).

#### **1.4 Απολύμανση**

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά είναι παρόμοιοι με αυτούς που βρίσκονται στον αγρό. Έτσι η μικροβιακή υποβάθμιση (decay) συνδέεται κυρίως με την ανάπτυξη μικροοργανισμών που προέρχονται από το περιβάλλον πριν την συγκομιδή (Fan and Song, 2008). Η απολύμανση, είναι από τα πιο κρίσιμα στάδια επεξεργασίας που επηρεάζει την ποιότητα, την ασφάλεια και τη διάρκεια ζωής των σαλατών (Sarron

κ.ά., 2021). Το χλώριο είναι ο κύριος απολυμαντικός παράγοντας που χρησιμοποιείται στο πλύσιμο φρούτων και λαχανικών αλλά παράγει υπολειμματικά υποπροϊόντα όπως τα τριαλομεθάνια (trihalomethanes) τα οποία πιθανώς είναι καρκινογόνα (Nath κ.ά., 2014).

Ο έλεγχος των μικροοργανισμών μπορεί να γίνει με δυο τύπους επεξεργασίας: τις θερμικές και τις μη θερμικές τεχνολογίες. Στις θερμικές τεχνολογίες υπάγονται οι εξής επεξεργασίες: το ζεστό νερό, ο ζεστός ατμός και το ζεστό διάλυμα απολύμανσης. Ο χρόνος εφαρμογής κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα έως κάποια λεπτά και σε θερμοκρασίες από 60 έως 100 °C ανάλογα το προϊόν (Barth κ.ά., 2009). Η θερμική επεξεργασία είναι αποτελεσματική στη μείωση της αναπνοής και της παραγωγής αιθυλενίου, μπορεί επίσης να μειώσει την ενζυμική δραστηριότητα που συνήθως αυξάνεται κατά την ωρίμαση, τη γήρανση ή και την αποθήκευση (Siddiqui κ.ά., 2011). Η επεξεργασία αυτή έχει βρεθεί ότι δεν είναι κατάλληλη για χρήση σε φρέσκα προϊόντα όπως είναι τα φρέσκα λαχανικά και τα μούρα, λόγω της υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους (Barth κ.ά., 2009).

Οι τεχνολογίες μη θερμικής επεξεργασίας μπορούν να ταξινομηθούν σε φυσικές και χημικές. Οι φυσικές τεχνολογίες περιλαμβάνουν υψηλή πίεση (high pressure), ακτινοβολία (irradiation), παλμικά ηλεκτρικά πεδία (pulsed electric fields), παλμικό λευκό φως (pulsed white light), υπερήχους (ultrasound) και υπεριώδη ακτινοβολία (ultraviolet radiation). Μερικές από αυτές τις μεθόδους δεν είναι εμπορικά εφαρμόσιμες λόγω του υψηλού κόστους (υψηλές πιέσεις και παλμικά ηλεκτρικά πεδία) και μερικές δεν είναι αποδεκτές από τους καταναλωτές (ακτινοβόληση). Οι χημικές τεχνολογίες ανάλογα με τη φυσική κατάσταση της χημικής ουσίας που χρησιμοποιείται μπορούν να χωριστούν σε αέριας φάσης (όζον και διοξείδιο του χλωρίου) και υγρής φάσης (χλωριωμένο νερό) τεχνολογίες (Barth κ.ά., 2009).

Τα πράσινα φυλλώδη λαχανικά συνδέονται με το 22% των ασθενειών και η κατανάλωση αυτών μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα κινδύνου για τη μετάδοση γνωστών τροφιμογενών παθογόνων. Το μαρούλι μπορεί να είναι συχνά μολυσμένο από παθογόνα βακτήρια όπως *Salmonella*, *Listeria*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus* και *Shigella*. Το χλώριο χρησιμοποιείται γενικά στη βιομηχανία των φρεσκοκομμένων λαχανικών για την πρόληψη πιθανής μόλυνσης και για την παράταση της διάρκειας ζωής του μαρουλιού (Sarron κ.ά., 2021). Τα τελευταία όμως χρόνια υπάρχει μία τάση εξάλειψής του από τη διαδικασία της απολύμανσης λόγω των κινδύνων που προκαλεί στο περιβάλλον και στην υγεία των καταναλωτών. Υπάρχει η ανάγκη για χρήση εναλλακτικών απολυμαντικών μεθόδων που να χρησιμοποιούνται στα φρέσκα λαχανικά όχι μόνο για τον κλάδο των βιολογικών τροφίμων αλλά και για των συμβατικών τροφίμων (Olmez and Akbas, 2009). Το όζον (O<sub>3</sub>) και η ακτινοβολία UV έχουν εφαρμογή σε φρέσκα λαχανικά με πολύ καλά αποτελέσματα στην μείωση του μικροβιακού πληθυσμού, στην αποτροπή της καστανώσης καθώς και στην παράταση ζωής μερικών από αυτών (Gil Munoz κ.ά., 2010).

### 1.4.1 UV-C

Η υπεριώδης ακτινοβολία UV-C είναι μη ιονίζουσα ακτινοβολία με μήκη κύματος από 100-280 nm. Η ακτινοβολία αυτή χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της μικροβιακής ποιότητας, την προστασία των υπερευαίσθητων ιστών, από την καστανώση και τον τραυματισμό των φρεσκοκομμένων προϊόντων (Taria κ.ά., 2015).

Η ακτινοβόληση των τροφίμων έχει τη δυνατότητα να διατηρήσει τα φρούτα και τα λαχανικά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σχεδόν σε φρέσκια κατάσταση. Το ισχύον όριο του FDA για την ακτινοβόληση φρέσκων προϊόντων είναι 1.0 kGy. Η υπεριώδης ακτινοβολία UV-C έχει χρησιμοποιηθεί για την παράταση της ζωής μετά τη συγκομιδή του φρέσκου επεξεργασμένου μαρουλιού. Η ακτινοβόληση μειώνει την αναπνοή καθώς και την παραγωγή αιθυλενίου στα προϊόντα. Μπορεί επίσης να καθυστερήσει την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης (Siddiqui κ.ά., 2011).

Η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας UV-C είναι μια μη θερμική επεξεργασία, η οποία έχει μελετηθεί εκτενώς για την επιφανειακή απολύμανση των φρούτων και των λαχανικών και θεωρείται μια εξαιρετικά αποτελεσματική, μη τοξική και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος. Η ακτινοβολία UV-C παράγεται σε μήκη κύματος 250-280 nm και αναφέρεται πως διαταράσσει τη λειτουργικότητα και την ακεραιότητα του DNA των μικροοργανισμών, επιπλέον συνδέεται με τη δημιουργία αντιδραστικών ειδών οξυγόνου που ρυθμίζουν τις φυσιολογικές διεργασίες παραγωγής δευτερογενών μεταβολιτών. Η UV-C ακτινοβολία μπορεί να διεισδύσει στα προϊόντα μόνο έως και κάποια χιλιοστά. (Esua κ.ά., 2020)

Η χρήση της ακτινοβολίας αυτής για τη συντήρηση τροφίμων ανακαλύφθηκε τη δεκαετία του 1930 και η πρώτη μελέτη για φρούτα και λαχανικά καταγράφηκε το 1977. Τα τυπικά συστήματα για την έκθεση φρούτων και λαχανικών σε ακτινοβολία UV-C αποτελούνται από αυτόνομους θαλάμους με λαμπτήρες φθορισμού. Έχει αναφερθεί πως τροποποιήσεις στους συμβατικούς αυτόνομους θαλάμους επάγουν βελτιωμένες μικροβιακές μειώσεις και διατήρηση των ποιοτικών ιδιοτήτων ακόμη και σε χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας UV-C. Για παράδειγμα, χαμηλές δόσεις 0.1-0.3 kJ/m<sup>2</sup> από εξοπλισμό υπεριώδους ακτινοβολίας UV-C, που υποβοηθείται από νερό με χρήση ψεκαστήρων υπό πίεση, ήταν ικανές για να μειώσουν την αναπνοή, να διατηρήσουν την ποιότητα και να προκαλέσουν μείωση 0.9-2.0 logCFU/g της *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*) και *Salmonella enterica* (*S. enterica*) σε μαρούλι και σπανάκι (Esua κ.ά., 2020). Δόσεις UV-C(0.5-20 kJ/m) αναστέλλουν τη μικροβιακή ανάπτυξη προκαλώντας σχηματισμό διμερών πυριμιδίνης που παραμορφώνουν την έλικα του DNA και εμποδίζουν την αναπαραγωγή των μικροβιακών κυττάρων. Τα κύτταρα που δεν μπορούν να επιδιορθώσουν το DNA τους, το οποίο έχει υποστεί βλάβη από την ακτινοβολία πεθαίνουν (Siddiqui κ.ά., 2011). Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Wang κ.ά., 2019, αποδείχθηκε ότι ο πληθυσμός των συνολικών βακτηρίων και μούχλας στην τομάτα μειώθηκε σε ένα εύρος 0.42-1.04 και 0.41-0.93 logCFU/g, αντίστοιχα, με αυξανόμενη ένταση από 66.64 σε 145.74 W/L. Ομοίως, τα χαμηλότερα επίπεδα έντασης ανέστειλαν την παραγωγή αιθυλενίου και τον ρυθμό αναπνοής και διατήρησαν τη φρεσκάδα και τις



αντιοξειδωτικές ιδιότητες, ενώ η υψηλότερη ένταση είχε αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα της τομάτας, αποδεικνύοντας ότι η κατάλληλη ένταση μπορεί να αναστείλει την αποσύνθεση και να διατηρήσει τις θρεπτικές ιδιότητες και τη γεύση της τομάτας κατά την αποθήκευση (Esua κ.ά., 2020). Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται ενδεικτικά το πώς επηρεάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ορισμένων φρούτων και λαχανικών σε διαφόρους χειρισμούς ακτινοβολίας UV-C.

Η αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας UV-C φαίνεται να είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία (μεταξύ 5-37°C), αλλά εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας που καθορίζεται από τη δομή και την μορφολογία της επιφάνειας του επεξεργασμένου προϊόντος, τη ροή ( $J\ m^{-2}$ ) και τη θέση μεταξύ της πηγής και του δείγματος. Επιπλέον, η ακτινοβολία UV-C δρα έμμεσα κατά των μικροοργανισμών διεγείροντας τους αμυντικούς μηχανισμούς των επεξεργασμένων προϊόντων, καθυστερώντας την αποσύνθεση και τη γήρανση (Escalona κ.ά., 2010). Ο χειρισμός με υπεριώδη ακτινοβολία προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στη βιομηχανία τροφίμων καθώς δεν αφήνει υπολείμματα, δεν έχει νομικούς περιορισμούς, είναι εύκολη στην χρήση, είναι θανατηφόρος για τους περισσότερους τύπους μικροοργανισμών και δεν απαιτεί την εφαρμογή εκτεταμένου εξοπλισμού ασφαλείας. Έχει αναφερθεί ότι οι αβιοτικές καταπονήσεις, όπως αυτή από την ακτινοβολία UV-C, μπορούν να ενισχύσουν το θρεπτικό περιεχόμενο των φρέσκων φρούτων και λαχανικών. Θα επηρέαζε το δευτερογενή μεταβολισμό των νωπών προϊόντων και θα αύξανε τη σύνθεση φυτοχημικών ουσιών με θρεπτική δράση ή θα μείωνε τη σύνθεση ανεπιθύμητων ενώσεων (Artes κ.ά., 2008).

**Πίνακας 2:** Επίδραση της ακτινοβολίας UV-C σε ποιοτικά χαρακτηριστικά διαφόρων φρούτων και λαχανικών.

<b>Προϊόν</b>	<b>Παράμετροι UV-C</b>	<b>Επίδραση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά</b>
<i>Μαρούλι</i>	57.6 kJ/m <sup>2</sup> , 3600s 24-72kJ/m <sup>2</sup> , 1200-3600s	Διατήρηση συνολικών παραμέτρων ποιότητας
	0.1-0.5 kJ/m <sup>2</sup> , 60-300s	Οξειδωτικός αποχρωματισμός, αύξηση αναπνοής
<i>Σταφύλι</i>	6 kJ/m <sup>2</sup> , 0.5% χιτοζάνη	Αύξηση ρεσβερατόλης, μείωση αναπνοής, απώλεια βάρους
<i>Τομάτα</i>	5-40 kJ/m <sup>2</sup>	-
	0.97kJ/m <sup>2</sup> , 180s	Μείωση απώλειας βάρους, βελτίωση φρεσκάδας και φαινολικού περιεχομένου
	0.6-6.0 kJ/m <sup>2</sup> , 10-100s	Διατήρηση φρεσκάδας και χρώματος
	57.6 kJ/m <sup>2</sup> , 3600s	Αύξηση δείκτη χρώματος
	2 kJ/m <sup>2</sup> , 500s, MAP	Αύξηση λυκοπένιου, διατήρηση χρώματος
	3.33 W/m <sup>2</sup> , 4kJ/m <sup>2</sup> , 120s	Μείωση απώλειας βάρους και ρυθμού αναπνοής,

		διατήρηση βιοενεργού και φυσικοχημικού περιεχομένου
	3 kJ/m <sup>2</sup>	Αύξηση ολικών φαινολών και φρεσκάδας
Φράουλα	0.5 kJ/m <sup>2</sup> 0.92-11.9 kJ/m <sup>2</sup> , 60-840s 24-72 kJ/m <sup>2</sup> , 1200-3600s	Αύξηση PAL και παραγωγής αιθυλενίου - -
	3.33 W/m <sup>2</sup> , 4 kJ/m <sup>2</sup>	Μείωση απώλειας βάρους και ρυθμού αναπνοής, αύξηση ανθοκυανίνων
	1.483 kJ/m <sup>2</sup> , 120s	Βελτίωση φρεσκάδας, διατήρηση ανθοκυανίνων
Δαμάσκηνο	40kHz, 100W, 600s, 40mg/L ClO <sub>2</sub>	Μείωση ρυθμού αναπνοής, διατήρηση οξύτητας, φλαβονοειδών και ασκορβικού οξέος

(Πηγή: Esua κ.ά., 2020)

#### 1.4.2 Όζον

Το όζον, έχει χρησιμοποιηθεί ως απολυμαντικός παράγοντας για την παραγωγή νερού στη Γαλλία από τις αρχές του 1900. Η πιθανή χρησιμότητα του όζοντος στη βιομηχανία τροφίμων έγκειται στο γεγονός ότι το όζον είναι 52% ισχυρότερο από το χλώριο και έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικό σε ένα πολύ ευρύτερο φάσμα μικροοργανισμών από το χλώριο και άλλα απολυμαντικά. Το όζον σχηματίζεται φυσικά στη στρατόσφαιρα σε μικρές ποσότητες (0.05mg/L) από την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στο οξυγόνο. Αποτελεί ένα αποτελεσματικό απολυμαντικό έναντι όλων των μορφών μικροοργανισμών ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις και σε θερμοκρασία δωματίου. Επίσης, είναι εξαιρετικός μυκητοκτόνος παράγοντας. Το όζον είναι μία από τις πιο ισχυρές αντιμικροβιακές ουσίες στον κόσμο, καταστρέφοντας έως και το 99.9% των φυτοφαρμάκων και των μικροοργανισμών που βρίσκονται συνήθως στα τρόφιμα λόγω της οξειδωτικής του ικανότητας. Θεωρείται το ισχυρότερο από όλα τα μόρια που είναι διαθέσιμα για απολύμανση στην επεξεργασία νερού και είναι το δεύτερο σε οξειδωτική δύναμη μετά το στοιχειακό φθόριο. Επιπλέον, η ευαισθησία των μικροοργανισμών στο όζον ποικίλλει ανάλογα με τη φυσιολογική κατάσταση της καλλιέργειας, το pH του μέσου, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την παρουσία πρόσθετων ουσιών (όπως αλάτι, σάκχαρα, επιφανειοδραστικές ουσίες κ.λπ.). Τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα στο όζον σε καθαρό νερό από ότι τα θετικά κατά Gram (Nath κ.ά., 2014).

Το όζον είναι ένα εξαιρετικά ασταθές μόριο τριατομικού οξυγόνου (O<sub>3</sub>) που σχηματίζεται με την προσθήκη ενός ατόμου οξυγόνου (O) σε ένα μόριο διατομικού οξυγόνου (O<sub>2</sub>). Το όζον (O<sub>3</sub>) παράγεται εμπορικά περνώντας το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) μέσα από ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι, το μοριακό οξυγόνο (O<sub>2</sub>) χωρίζεται σε δύο άτομα

οξυγόνου τα οποία είναι πολύ αντιδραστικά συστατικά. Όταν ένα ελεύθερο άτομο οξυγόνου συναντά ένα διατομικό μόριο οξυγόνου ενώνεται με αυτό για να σχηματίσει το μόριο του όζοντος το οποίο γρήγορα διασπάται εκ νέου σε  $O_2$  απελευθερώνοντας ένα άτομο οξυγόνου το οποίο στη συνέχεια μπορεί να ενωθεί με ένα άλλο άτομο οξυγόνου για να σχηματίσει  $O_2$  ή να ενωθεί με άλλες χημικές ομάδες-ενώσεις για να προκαλέσει οξείδωση. Μετά την απελευθέρωση του  $O$ , το  $O_3$  δρα ως ισχυρός οξειδωτικός παράγοντας, ο οποίος είναι πολύ αποτελεσματικός στην καταστροφή μικροοργανισμών. (Artes κ.ά., 2008)

Το  $O_3$  έχει εγκριθεί για χρήση ως απολυμαντικό σε τρόφιμα και στην επεξεργασία τροφίμων. Η διάσπαση του  $O_3$  είναι τόσο γρήγορη στην υδατική φάση των τροφίμων που η αντιμικροβιακή του δράση μπορεί να λάβει χώρα κυρίως στην επιφάνεια, χωρίς να αφήνει υπολείμματα. Η βακτηριοκτόνος δράση του  $O_3$  έχει αποδειχθεί σε μια μεγάλη ποικιλία βακτηριών Gram+ και Gram- καθώς και σε σπόρια και βλαστικά κύτταρα. Το  $O_3$  καταστρέφει τους μικροοργανισμούς με την προοδευτική οξείδωση ζωτικών συστατικών των κυττάρων, εμποδίζοντας την μικροβιακή ανάπτυξη και επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής πολλών φρούτων και λαχανικών με αποτέλεσμα η βιομηχανική χρήση του να αυξάνεται (Artes κ.ά., 2008). Το όζον σε σχέση με το υποχλωριώδες είναι πιο αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση βακτηριών, ιών και σπορίων μυκήτων. Η απολυμαντική δράση του όζοντος είναι συνέπεια της ισχυρής οξειδωτικής του δύναμης (Taria κ.ά., 2015).

Το όζον αντιπροσωπεύει μια βιώσιμη τεχνολογία που είναι σε θέση να βελτιώσει ολόκληρη την ποιότητα του μαρουλιού και των σαλατών γενικότερα (Sarron κ.ά., 2021). Στη βιομηχανία της μεταποίησης είναι σημαντικό, τα επίπεδα του εφαρμοζόμενου όζοντος να διατηρούνται όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Το δυναμικό διάβρωσης του ανοξειδωτού χάλυβα αυξάνεται πάνω από 1 ppm συγκέντρωσης όζοντος και τα περισσότερα υλικά είναι συμβατά με το όζον σε μέτριες συγκεντρώσεις 1-3 ppm. Στο εργασιακό περιβάλλον η κατώτατη οριακή τιμή (TLV, Threshold Limit Value) για την έκθεση στο όζον για μακροχρόνια έκθεση (8 ώρες) είναι το 0.1 ppm και για βραχυχρόνια (15 λεπτά) τα 0.3 ppm. Θα ήταν ευκολότερο να διατηρηθούν αυτά τα επίπεδα όζοντος στο εργασιακό περιβάλλον εάν τα εφαρμοζόμενα επίπεδα όζοντος μπορούν να διατηρηθούν χαμηλά. Τόσο η συγκέντρωση όσο και ο χρόνος έκθεσης επηρεάζουν σημαντικά την συνολική οπτική ποιότητα (OVQ) του μαρουλιού. Επίπεδα όζοντος πάνω από 2.5 ppm επηρεάζουν το χρώμα, τη φρεσκάδα και προκαλούν καστανώσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής του μαρουλιού. Η εφαρμογή όζοντος μπορεί να είναι επωφελής μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο, ενώ μετά από ένα κρίσιμο επίπεδο μπορεί να επιταχύνει τις αντιδράσεις καστανώσεως με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας σε σύγκριση με την επεξεργασία με χλώριο. Η αυξημένη δραστηριότητα της αμμωνιακής λυάσης της φαινυλαλανίνης (PAL) είναι γνωστό ότι έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής οπτικής ποιότητας και επομένως, της διάρκειας ζωής του ελάχιστα επεξεργασμένου μαρουλιού (Olmez and Akbas, 2009). Αν και το  $O_3$  έχει εγκριθεί ως πρόσθετο τροφίμων, τα άτομα που ενδέχεται να

έρθουν σε επαφή με το O<sub>3</sub> πρέπει να είναι προσεκτικά, καθώς μπορεί να επηρεάσει την αναπνοή, να προκαλέσει ζάλη και ερεθισμό των ματιών και του λαιμού. Ακόμα και αν είναι σε χαμηλά επίπεδα το O<sub>3</sub> μπορεί να μην είναι τοξικό αέριο, πάνω από 0.2 ppm, μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην αναπνευστική οδό και σε υψηλά επίπεδα μπορεί να γίνει θανατηφόρο για τον άνθρωπο (Artes κ.ά., 2008).

Η αποτελεσματικότητα του όζοντος επηρεάζεται είτε από (α) ενδογενείς παράγοντες όπως ο τύπος του φρούτου και του λαχανικού, το βάρος, τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του προϊόντος και η έκταση της επιφάνειας, το διαθέσιμο νερό, το μικροβιακό φορτίο και τα χαρακτηριστικά και η φυσική κατάσταση των μικροβιακών και βακτηριακών στελεχών, η φυσική μικροχλωρίδα, τεχνητά ανεπτυγμένοι μικροοργανισμοί και το μέγεθος πληθυσμού τους και (β) εξωγενείς παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού (pH, οργανική ουσία, πίεση και θερμοκρασία), η ποιότητα του αέρα (σχετική υγρασία) και επεξεργασία με όζον (συγκέντρωση και χρόνος εφαρμογής του χειρισμού) (Sarron κ.ά., 2021).

## **1.5 Ποιότητα τροφίμων και ποιοτικά χαρακτηριστικά**

Η ποιότητα των τροφίμων μπορεί να οριστεί ως το σύνολο των χαρακτηριστικών που διαφοροποιούν τις μεμονωμένες μονάδες ενός προϊόντος και έχουν σημασία στον καθορισμό του βαθμού αποδοχής, της εν λόγω μονάδας, από τον καταναλωτή. Όσον αφορά τα φρούτα και τα λαχανικά, τα χαρακτηριστικά που προσδίδουν ξεχωριστή ποιότητα μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: (1) το χρώμα και η εμφάνιση, (2) το άρωμα, (3) η υφή και (4) η θρεπτική αξία. Συνήθως η εμφάνιση του προϊόντος καθορίζει εάν το προϊόν γίνεται αποδεκτό ή απορρίπτεται από τον καταναλωτή (Barrett κ.ά., 2010).

Η μείωση της θερμοκρασίας αναστέλλει τις μεταβολικές διεργασίες που συμβαίνουν στα λαχανικά μετά τη συγκομιδή, και επιβραδύνει τον ρυθμό μικροβιακής ανάπτυξης που θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα του προϊόντος (Paciulli κ.ά., 2014).

### **1.5.1 Υφή**

Οι ιδιότητες της υφής ενός τροφίμου μπορούν να οριστούν ως η ομάδα φυσικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν από τα δομικά στοιχεία του τροφίμου, γίνονται αντιληπτές με την αίσθηση της αφής, σχετίζονται με την παραμόρφωση, την αποσύνθεση και τη ροή του τροφίμου υπό την επίδραση δύναμης και μετρώνται αντικειμενικά συναρτήσει της μάζας, του χρόνου και της απόστασης. Οι περισσότεροι φυτικοί ιστοί που χρησιμοποιούνται ως τροφή περιέχουν 75 έως και 95% νερό και η συμπεριφορά αυτού του συστατικού είναι ζωτικής σημασίας για τις επιπτώσεις της επεξεργασίας στη δομή και την υφή των τροφίμων. Η υφή είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ποιότητας στα οποία συμβάλλουν τα κυτταρικά τοιχώματα. Η τελική υφή εξαρτάται από τη σχετική σημασία κάθε

παράγοντα που συμβάλλει στην υφή και από το βαθμό στον οποίο αυτός έχει μεταβληθεί από την μέθοδο επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε (Llovera, 2008). Η υφή των φυτικών τροφών αποδίδεται κυρίως στη δομική ακεραιότητα του κυτταρικού τοιχώματος και του μεσοκυττάριου χώρου, καθώς και στην πίεση σπαργής που δημιουργείται μέσα στα κύτταρα (Paciulli κ.ά., 2014).

Τα χαρακτηριστικά υφής των φυτικών ιστών ποικίλλουν κατά τους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς, καθώς εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως το στάδιο ωρίμανσης, η υδατική καταπόνηση (water stress), τη θερμοκρασία αποθήκευσης, τη σχετική υγρασία, την κακή μεταχείριση (rough handling) και τη διαδικασία ωρίμανσης. Οι αλλαγές που παρατηρούνται σε πολλά προϊόντα περιλαμβάνουν την απώλεια σπαργής τους, μαλάκωμα των ιστών, οι οποίοι γίνονται πιο ελαστικοί ή σκληρότεροι, όπου έχουν ως αποτέλεσμα την σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των προϊόντων. Αυτά μπορεί να προκληθούν λόγω της διαδικασίας της διαπνοής, της δραστηριότητας ενζύμων ή και των μηχανικών τραυματισμών που συμβαίνουν κατά την μεταφορά και την αποθήκευση. Ένζυμα όπως η β-γαλακτοσιδάση, η πολυγαλακτουρονάση, η μεθυλεστεράση, η υπεροξειδάση και η κυτταρινάση, είναι ικανά να οδηγήσουν στην αλλοίωση του κυτταρικού τοιχώματος και σε σημαντική αποικοδόμηση της πηκτίνης. Για παράδειγμα το μαρούλι και το σπανάκι χάνουν την τραγανότητά τους. Το μαρούλι είναι επιρρεπές στην απώλεια νερού με τα κυριότερα χαρακτηριστικά που παρατηρούνται να είναι ο έντονος μαρασμός και η συρρίκνωσή του. (Giannakourou and Tsironi, 2021)

Οι παράμετροι υφής των φρούτων και των λαχανικών γίνονται αντιληπτές μέσω της αφής, είτε όταν το προϊόν αγγίζεται με το χέρι είτε όταν τοποθετείται στο στόμα και μασιέται. Τα χαρακτηριστικά αυτά μετρώνται αρκετά εύκολα με την χρήση οργάνων. Τα περισσότερα φυτικά υλικά περιέχουν σημαντική ποσότητα νερού και άλλων υδατοδιαλυτών συστατικών τα οποία περιβάλλονται από μια ημιπερατή μεμβράνη και το κυτταρικό τοίχωμα. Τα λαχανικά για σαλάτες όπως το μαρούλι, το καρότο, το σέλινο και το ραπανάκι θα πρέπει να είναι τραγανά (Barrett κ.ά., 2010). Η υφή εξαρτάται από τα δομικά χαρακτηριστικά των ιστών. Τα λαχανικά γίνονται σκληρότερα κατά την ωρίμανση λόγω της λιγνιτοποίησης (lignification) του πρωτογενούς κυτταρικού τοιχώματος και διαμόρφωση δευτερεύοντος κυτταρικού τοιχώματος. Η χαμηλή θερμοκρασία μειώνει τον ρυθμό των μεταβολών της υφής καθυστερώντας μεταβολικές διαδικασίες. Απώλειες λόγω αναπνοής και φυσικού μαρασμού (physical drying) επηρεάζουν την υφή και οδηγούν σε μαρασμό τα φυλλώδη και σε συρρίκνωση τα σαρκώδη λαχανικά (Λέντζου, 2013). Για το μαρούλι, η καστανίωση και η έλλειψη σκληρότητας γίνονται αποδεκτά ως οι κρίσιμοι παράγοντες για την αντίληψη της απώλειας της ποιότητας. Η τραγανότητα είναι μια σημαντική ποιοτική παράμετρος καθώς οι καταναλωτές τη συσχετίζουν με τη φρεσκάδα του προϊόντος (Olmez and Akbas, 2009). Η απώλεια της τραγανότητας (firmness) είναι άμεση και ταχύτερη στους τραυματισμένους ιστούς λόγω ρήξης (rupture) των κυττάρων και της απώλειας της ακεραιότητας των ιστών. Η

δραστηριότητα των ενζύμων του κυτταρικού τοιχώματος μπορεί να επιταχυνθεί με τον τραυματισμό των κυττάρων του ιστού, γεγονός που συμβάλλει στην εκτεταμένη χαλάρωση των ιστών των φρέσκων κομμένων λαχανικών. Η αυξημένη δραστηριότητα των ενζύμων του κυτταρικού τοιχώματος, προκαλεί αποπολυμερισμό των πηκτικών και ημικυτταρινικών πολυουρονιδίων, που μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω αλλαγές της υφής στους φρεσκοκομμένους ιστούς (Ergun, 2006).

### 1.5.2 Χρώμα

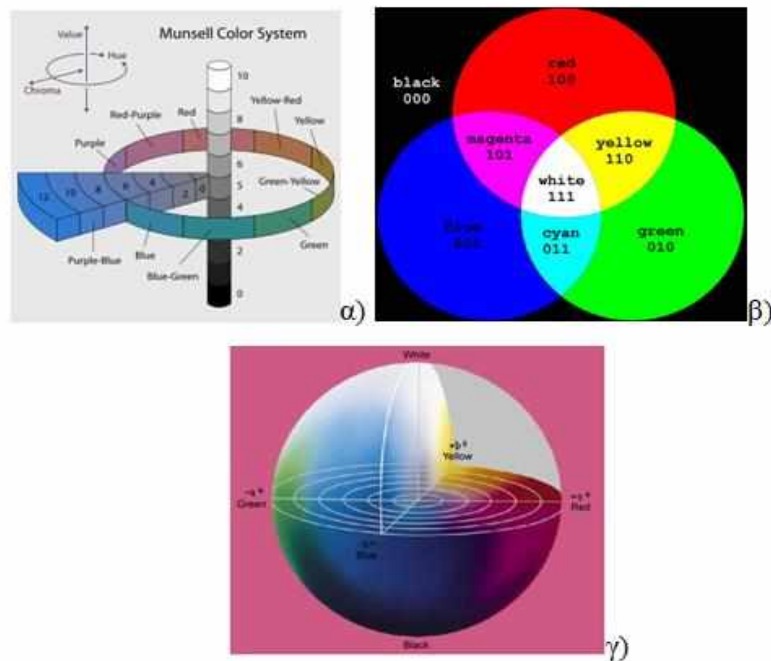
Το χρώμα προέρχεται από τις φυσικές χρωστικές ουσίες των φρούτων και των λαχανικών, πολλές από τις οποίες αλλάζουν καθώς το φυτό προχωρά στην ωρίμαση και τη γήρανση. Οι κύριες χρωστικές που προσδίδουν τη χρωματική ποιότητα είναι οι λιποδιαλυτές χλωροφύλλες (πράσινες) και τα καροτενοειδή (κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο) και οι υδατοδιαλυτές ανθοκυανίνες (κόκκινο και μπλε), τα φλαβονοειδή (κίτρινο) και βεταλαΐνες (κόκκινο). Επιπλέον, οι ενζυμικές και μη ενζυμικές αντιδράσεις αμαύρωσης μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό υδατοδιαλυτών καφέ, γκρι και μαύρων χρωστικών ουσιών. Τα καροτενοειδή μπορεί να αποχρωματιστούν από ένα ένζυμο που ονομάζεται λιποξυγενάση, το οποίο καταλύει την οξειδωση των λιπιδικών ενώσεων. Οι ανθοκυανίνες είναι ευαίσθητες τόσο στο pH όσο και στη θερμότητα όπως και οι βεταλαΐνες, ενώ τα φλαβονοειδή είναι ευαίσθητα στην οξειδωση αλλά σχετικά σταθερά στη θερμότητα. Η γυαλάδα επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε υγρασία, την εναπόθεση κηρών στην επιφάνεια και τις πρακτικές χειρισμού μετά τη συγκομιδή. Τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά πρέπει να φαίνονται φρέσκα, αυτό υποδεικνύεται από τη φωτεινότητα του χρώματος και την απουσία οπτικών ελαττωμάτων και στίγματων. Ο μαρασμός, το καφέ χρώμα, τα θαμπά χρώματα και τα στίγματα είναι όλα δείκτες απώλειας φρεσκάδας στα φρεσκοκομμένα λαχανικά. Στο μαρούλι δυο ανεπιθύμητες οπτικές διαταραχές είναι η κηλίδωση (rusty browning, russet browning) και οι καφέ δερματώσεις (brown stain), που είναι δύο ξεχωριστές διαταραχές. Ο ορατός μαρασμός στο μαρούλι και το κιτρίνισμα, λόγω απώλειας χλωροφύλλης, είναι μη αποδεκτά για τους καταναλωτές (Barrett κ.ά., 2010). Μετά τη συγκομιδή των προϊόντων, η πιο κοινή διαταραχή που μπορεί να μειώσει την εμπορική αξία τους είναι η μεταβολή του χρώματος. Κατά την συγκομιδή, οι αιτίες της απώλειας χρώματος αποδίδονται σε ασθένειες, έλλειψη μεταλλικών θρεπτικών συστατικών, συνθήκες καλλιέργειας, αιθυλένιο κ.λπ. (Ferrante κ.ά., 2008). Το χρώμα γίνεται αντιληπτό διαφορετικά από κάθε άνθρωπο όπως και οι οσμές ή οι ήχοι άρα είναι ένα υποκειμενικό ερέθισμα στο οποίο συμβάλλουν πολλοί παράγοντες όπως η φωτεινή πηγή, η διάθεση, η γωνία παρατήρησης και η χρωματική ευαισθησία του παρατηρητή. Παρά την υποκειμενικότητά του όμως, το χρώμα μπορεί να προσδιορισθεί αντικειμενικά αρκεί να είναι σταθερές οι συνθήκες στις οποίες εξετάζεται και ανεξάρτητες από εξωτερικούς παράγοντες.

Το χρώμα χαρακτηρίζεται από τρεις βασικούς παράγοντες :

- Τη χροιά (hue) η οποία αναφέρεται στο βασικό χρώμα ενός αντικειμένου και είναι το πρώτο κριτήριο διάκρισης του χρώματος.
- Το χρωματικό κορεσμό (chroma) ο οποίος περιγράφει την καθαρότητα του χρώματος.
- Τη φωτεινότητα ή λαμπρότητα (brightness) όταν η χροιά μένει σταθερή και τα τρία στοιχεία του χρώματος (κόκκινο, πράσινο, μπλε) μειώνονται ταυτόχρονα διατηρώντας την αναλογία τους η λαμπρότητα του χρώματος μειώνεται.

Η εκτίμηση του χρώματος μπορεί να λάβει χώρα είτε με υποκειμενικές μεθόδους που βασίζονται στην ανθρώπινη παρατήρηση (π.χ. πίνακες Munsell), είτε με αντικειμενικές μεθόδους που βασίζονται σε κάποιο όργανο μέτρησης (π.χ. χρωματόμετρο) και δεν λαμβάνουν υπόψιν τους καθόλου την υποκειμενικότητα της ανθρώπινης εκτίμησης.

Το χρώμα ενός αντικειμένου μπορεί να περιγραφεί από διάφορα συστήματα χρωματικών συντεταγμένων (colour coordinates systems). Μερικά από τα πιο δημοφιλή συστήματα είναι το Munsel (Εικόνα 2α), το RGB (κόκκινο-R, πράσινο-G, μπλε-B) (Εικόνα 2β), το Hunter Lab και τα συστήματα της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού (Comission Internationale de l' Eclairage's-CIE): CIEL\*a\*b (Εικόνα 2γ), CIEXYZ, CIEL\*u\*v\*, CIEYxy και CIELCh. Σύμφωνα με την CIE το ανθρώπινο μάτι έχει τρεις δείκτες, το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε και όλα τα χρώματα προκύπτουν από το συνδυασμό αυτών των τριών βασικών χρωμάτων. Οι ποσότητες του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε που απαιτούνται για να σχηματίσουν οποιοδήποτε χρώμα ονομάζονται τριχρωματικοί (tristimulus) παράγοντες και συμβολίζονται αντίστοιχα με τα γράμματα X, Y και Z.



**Εικόνα 2:** α) Απεικόνιση χρωμάτων στο χρωματικό σύστημα Munsell (Munsellcolor, 2013)

β) Απεικόνιση χρωμάτων στο σύστημα RGB (Hernandez, 2007)

γ) Απεικόνιση του τρισδιάστατου χρωματικού χώρου CIE L\*a\*b\* (OPI, 2013)

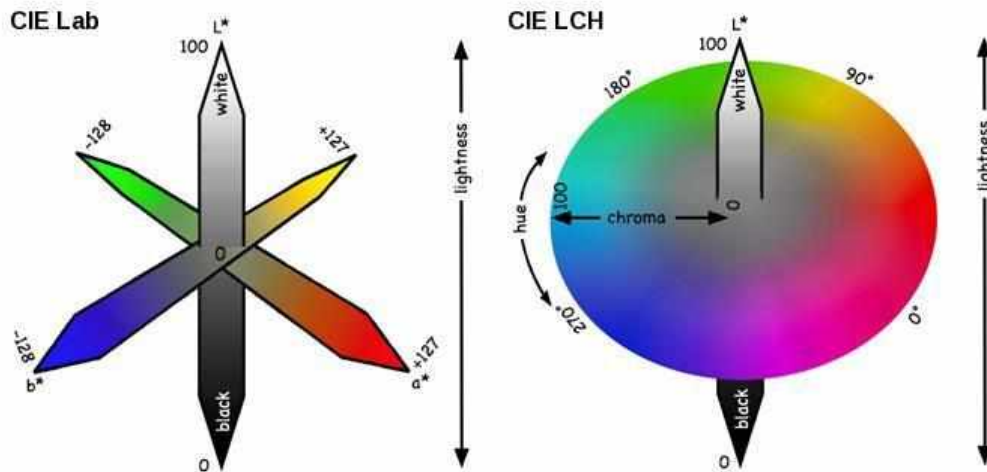
Το χρωματικό μοντέλο CIELab ή  $L^*a^*b^*$  παρουσιάστηκε από την CIE το 1976 και προέρχεται από το χρωματικό χώρο CIE XYZ. Πρόκειται για ένα ομοιόμορφο οπτικά χρωματικό χώρο (uniform color space), ο οποίος προσεγγίζει καλύτερα από όλα τα χρωματικά συστήματα την ανθρώπινη αντίληψη των χρωματικών διαφορών. Το κάθε χρώμα περιγράφεται από τρεις παράγοντες όπως και στο χρωματικό μοντέλο RGB και είναι επηρεασμένο από το χρωματικό σύστημα Munsell.

Στο CIELab οι χρωματικοί παράγοντες ονομάζονται  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  και απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων ως παράγοντας  $L^*$  (Lightness) που φέρει την πληροφορία της φωτεινότητας της εικόνας και παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), ενώ οι παράγοντες  $a^*$  και  $b^*$  φέρουν αντίστοιχα τις παρακάτω πληροφορίες χρώματος χωρίς να υπάρχουν για αυτά κάποια αριθμητικά όρια. Θετικές τιμές του  $a^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου και αρνητικές τιμές αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του  $b^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου ενώ αρνητικές αποχρώσεις του μπλε. Αυτές οι τιμές μπορούν να τοποθετηθούν στον τρισδιάστατο CIE χώρο χρωματικών συντεταγμένων, έτσι ώστε κάθε χρώμα-απόχρωση να χαρακτηρίζεται από ένα διακεκριμένο σημείο σε αυτόν.

Το χρωματικό μοντέλο CIE L\*a\*b\* μπορεί να αναπαρασταθεί και σε κυλινδρικό σύστημα πολικών συντεταγμένων με το μοντέλο CIE L\*C\*h\* (Εικόνα 3). Όπου  $L^*$  η φωτεινότητα,  $C^*$  ο χρωματικός κορεσμός που προσδιορίζει την ένταση ή την



καθαρότητα του χρώματος και η χροιά η οποία μετράται σε μοίρες και προσδιορίζει την απόχρωση παίρνοντας τιμές  $0^\circ$  για το κόκκινο,  $90^\circ$  για το κίτρινο,  $180^\circ$  για το γαλαζοπράσινο και  $270^\circ$  για το μπλε.



**Εικόνα 3:** Απεικόνιση συστήματος  $L^*a^*b^*$  σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων  $L^*C^*h^*$  (OHWEB, 2013).

Ο παράγοντας  $C^*$  υπολογίζεται από την Εξίσωση 2 ενώ το πεδίο τιμών του ανήκει σε επιφάνεια που ξεκινά από το κέντρο του χρωματικού χώρου και δεν παίρνει ποτέ αρνητικές τιμές όπως και ο παράγοντας  $h$  (εικόνα 3).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

Για τον υπολογισμό του παράγοντα  $h$  διακρίνονται οι παρακάτω εξισώσεις:

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ όταν } a^* > 0 \text{ και } b^* \geq 0 \quad (3)$$

$$h = 0^\circ \text{ όταν } a^* = 0 \text{ και } b^* = 0 \quad (3\alpha)$$

$$h = 90^\circ \text{ όταν } a^* = 0 \text{ και } b^* > 0 \quad (3\beta)$$

$$h = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ όταν } a^* < 0 \quad (3\gamma)$$

$$h = 270^\circ \text{ όταν } a^* = 0 \text{ και } b^* < 0 \quad (3\delta)$$

$$h = 360^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ όταν } a^* > 0 \text{ και } b^* < 0 \quad (3\epsilon)$$

Η ολική μεταβολή του χρώματος μεταξύ δύο σημείων στο χώρο μπορεί να προσδιοριστεί από την σχέση (4),

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

όπου  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  και  $\Delta b$  είναι αντίστοιχα οι διαφορές από ένα αρχικό χρωματικό σημείο ή σημείο αναφοράς. Καθώς όμως το ανθρώπινο μάτι δεν ξεχωρίζει τέτοια χρώματα,  $a^*$  και  $b^*$ , τα δεδομένα μετατρέπονται σε χρωματικές συναρτήσεις της χροιάς (hue) και του κορεσμού (chroma) (Λέντζου, 2013).

Η διατήρηση της γλωροφύλλης στα λαχανικά, το κόκκινο προς μωβ των ανθοκυανών, το κίτρινο, το πορτοκαλί και το κόκκινο των καροτενοειδών τόσο στα φρούτα όσο και στα λαχανικά είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ποιότητας. Οι αλλαγές χρώματος στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά μπορεί να έχουν διαφορετική προέλευση, για παράδειγμα οι μειωμένες πράσινες χρωστικές στο φρέσκο κομμένο μαρούλι μπορεί να οφείλεται στη γήρανση, στην έκθεση σε θερμότητα ή οξίνιση (Garcia and Barrett, 2002).

## 2. Πειραματικό μέρος

### 2.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της ακτινοβολίας UV-C και του αέριου όζοντος (O<sub>3</sub>) ως μεμονωμένων και συνδυαστικών χειρισμών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά (αναπνευστικό ρυθμό, χρώμα, απώλεια μάζας, ρυθμό διαπνοής και την υφή) κομμένου μαρουλιού ποικιλίας Romaine, συντηρούμενο σε θερμοκρασία 5.7 °C και σχετική υγρασία 91.95% για 5 ημέρες για κάθε χειρισμό. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές ροές πυκνότητας ακτινοβολίας UV-C και μια συγκέντρωση όζοντος, οι οποίες έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία ότι έχουν θετική επίδραση στην απολύμανση του κομμένου μαρουλιού.

### 2.2 Φυτική ύλη

Στο παρόν πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν κεφάλια μαρουλιού ποικιλίας Romaine, τα οποία προμηθεύτηκαν από τοπικό παραγωγό στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας. Οι κεφαλές του μαρουλιού μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, όπου απορρίφθηκαν τα 3-4 εξωτερικά φύλλα. Τα υπόλοιπα φύλλα πλύθηκαν με νερό βρύσης για ένα λεπτό και στη συνέχεια κόπηκαν με αποστειρωμένο μαχαίρι σε λωρίδες πάχους 3 cm, οι οποίες στη συνέχεια πλύθηκαν ξανά με απιονισμένο νερό στους 5 °C για δυο λεπτά και το πλεονάζον νερό απομακρύνθηκε με περιστρεφόμενο σουρωτήρι λαχανικών (salad spinner). Μετά την ολοκλήρωση του πλυσίματος, σχηματίστηκαν δείγματα των 60 g το καθένα και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στους εξεταζόμενους χειρισμούς.

### 2.3 Χειρισμοί επεξεργασίας μαρουλιού

Οι Sarron κ.ά. (2021) ανέφεραν ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν θετικά τη βιοκτόνο απόδοση του όζοντος, αυξάνοντας τη διαλυτότητα, τη σταθερότητα και τη διαθεσιμότητα του στο μέσο. Αντίθετα, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, το όζον γίνεται λιγότερο διαλυτό και λιγότερο σταθερό. Η αποτελεσματικότητα του αέριου όζοντος είναι ευεργετική για την απολύμανση φρούτων και λαχανικών όταν η σχετική υγρασία είναι  $\geq 80\%$  (Sarron κ.ά., 2021).

Με βάση τα προηγούμενα, οι χειρισμοί πραγματοποιήθηκαν σε περιβάλλον με θερμοκρασία 10-15 °C και σχετική υγρασία  $\geq 80\%$ , ενώ η ψυχρή αποθήκευση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία  $5.7 \pm 0.3$  °C και σχετική υγρασία  $91.95 \pm 3.7\%$  για 5 ημέρες. Τα δείγματα φρέσκου μαρουλιού υποβλήθηκαν σε επεξεργασία αρχικά με ακτινοβολία UV-C. Για το σκοπό αυτό, ένα φορητό ισοθερμικό ψυγείο όγκου 40 λίτρων καλύφθηκε εσωτερικά με αλουμινόχαρτο για μεγιστοποίηση της ανάκλασης και το κάλυμμά του εφοδιάστηκε εσωτερικά με μία λάμπα UV-C (LADVANCE, MLs Co., Ltd, PRC) T8 ονομαστικής ισχύος 15 W (96 V) G13 και μήκος 436 mm (Εικόνα 4). Η ακτινοβολούμενη ισχύς του λαμπτήρα στα 254 nm είναι 12.6 W. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον πυθμένα του ψυγείου έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ των λαμπτήρων UV-C και της επιφάνειας των δειγμάτων να είναι 25 cm. Η ροή της

ενέργειας ακτινοβολήσης των δειγμάτων (ενέργεια ακτινοβολίας που λαμβάνεται από μια επιφάνεια) υπολογίστηκε όπως περιγράφεται από τον Keitz (1971)  $0.41 \text{ kJ/m}^2$  για εφαρμογή διάρκειας 30 s,  $0.83 \text{ kJ/m}^2$  για εφαρμογή 60 s και  $1.65 \text{ kJ/m}^2$  για εφαρμογή 120 s. Ο χειρισμός με ακτινοβολία UV-C πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία  $5^\circ\text{C}$ .



**Εικόνα 4:** Ισοθερμικό ψυγείο που χρησιμοποιήθηκε για την ακτινοβολήση των δειγμάτων με UV-C.

Το αέριο όζον παράχθηκε με χρήση γεννήτριας όζοντος QLA-400 (Guangzhou Qili Environmental Equipment Co., Ltd., Guangzhou, PRC, Εικόνα 5) με ρυθμό παραγωγής όζοντος  $400 \text{ mg/h}$ . Η συγκέντρωση του όζοντος μετρήθηκε χρησιμοποιώντας έναν φορητό ανιχνευτή όζοντος, D-16 PortaSens III Gas Detector-Ozone 0-20 ppm (Gas Sensing, Inwood, USA). Η συγκέντρωση του  $\text{O}_3$  στον αέρα διατηρήθηκε στο επίπεδο των  $5 \text{ mg/L}$  για 5 λεπτά καθ' όλη τη διάρκεια των μεταχειρίσεων. Η συνδυαστική επίδραση της ακτινοβολίας UV-C και του αερίου  $\text{O}_3$  διερευνήθηκε επίσης χρησιμοποιώντας τρία χρονικά επίπεδα ως εξής: UV (30 s)+ $\text{O}_3$  ( $5 \text{ mg/L}$ ), UV (60 s)+ $\text{O}_3$  ( $5 \text{ mg/L}$ ) και UV (120 s)+ $\text{O}_3$  ( $5 \text{ mg/L}$ ).



**Εικόνα 5:** Διαδικασία χειρισμού με αέριο  $O_3$ .

## 2.4 Πειραματική διαδικασία

Κατά τη διάρκεια της ψυχοσυντήρησης γινόταν μέτρηση του αναπνευστικού ρυθμού ( $RR \text{ mLCO}_2/100 \text{ g}$ ), 1η και 2η ημέρα 2 φορές την ημέρα ανά έξι ώρες και 3<sup>η</sup>-5<sup>η</sup> ημέρα 1 φορά την ημέρα. Κάθε ημέρα τα δείγματα ζυγίζονταν για τον προσδιορισμό της απώλειας μάζας και μετρούταν το χρώμα τους. Στο τέλος κάθε πειραματικής σειράς γινόταν ογκομέτρηση απαραίτητη για τον υπολογισμό του αναπνευστικού ρυθμού. Κάθε μέτρηση από τις παραπάνω λάμβανε χώρα σε 9 δείγματα κομμένου μαρουλιού (Εικόνα 6) (3x3) καθένα από τα οποία ζύγιζε 60 g. Στην αρχή και στο τέλος κάθε πειράματος γινόταν καταστροφικός προσδιορισμός της υφής (μέγιστη δύναμη διάτμησης και δαπανώμενο έργο) με χρήση κελιού Kramer.



**Εικόνα 6:** Δείγματα κομμένου μαρουλιού

#### **2.4.1 Προσδιορισμός απώλειας μάζας**

Η μέτρηση της μάζας πραγματοποιήθηκε με χρήση ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας, AND ακριβείας  $\pm 0.01\text{g}$  (EK-610i, Japan, Εικόνα. 7). Οι ζυγίσεις για τον προσδιορισμό των απωλειών μάζας γίνονταν καθημερινά, μία φορά την ημέρα. Ο ζυγός που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της μάζας ήταν τοποθετημένος εξ αρχής εντός του ψυκτικού θαλάμου λόγω ανθεκτικότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες για να αποφευχθούν τυχόν συμπυκνώματα υγρασίας.



**Εικόνα 7:** Ζυγός AND.

Ο ρυθμός διαπνοής των δειγμάτων υπολογίστηκε μέσω της απώλειας μάζας. Ο ρυθμός της διαπνοής εκφράστηκε, ως προς την αρχική μάζα (g/kg h) για κάθε χειρισμό που πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά, όπως περιγράφεται παρακάτω.

$$TR_m = \frac{Mi - Mt}{tx \left( \frac{Mi}{1000} \right)} \quad (5)$$

όπου:  $TR_m$  είναι ο ρυθμός διαπνοής ανά μονάδα μάζας (g/kg h),  $M_i$  είναι το αρχικό βάρος του λαχανικού (g),  $M_t$  είναι το βάρος του λαχανικού τη χρονική στιγμή  $t$  (h).

#### 2.4.2. Εκτίμηση όγκου

Ο όγκος των δειγμάτων υπολογίστηκε στο τέλος κάθε πειραματικής σειράς. Η ογκομέτρηση έλαβε χώρα με τη μέθοδο της «εκτόπισης νερού» (Εικόνα 8). Αφού μετρήθηκε το βάρος των δειγμάτων, ζυγίστηκε ένας ογκομετρικός κύλινδρος και αφαιρέθηκε το απόβάρό του. Ύστερα, τα δείγματα βυθίστηκαν ατομικά σε μια δεξαμενή, η οποία έφερε μια μικρή οπή στο ύψος της στάθμης του νερού για την υπερχειλίση του εκτοπισμένου νερού, το οποίο συλλέχθηκε με τον ογκομετρικό κύλινδρο και ζυγίστηκε. Από το βάρος του εκτοπισμένου νερού και την αντίστοιχη πυκνότητα του νερού, υπολογίστηκε ο όγκος του.



**Εικόνα 8:** Διαδικασία ογκομέτρησης.

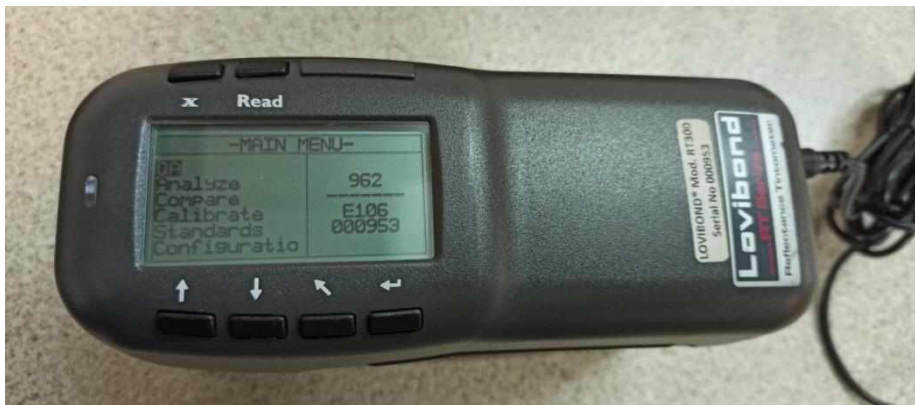
#### 2.4.3 Μέτρηση χρώματος

Οι μετρήσεις του χρώματος έγιναν με το χρωματόμετρο Lovibond RT300 (Tintometer Ltd., UK) (Εικόνα 9). Οι μετρήσεις γίνονταν σε τρία διαφορετικά σημεία κάθε δείγματος μαρουλιού (3 σημεία x 3 δείγματα x 3 επαναλήψεις = 27 σημεία δειγματοληψίας) με στόχο να καλυφθεί το μεγαλύτερο μέρος της

εκτεθειμένης επιφάνειας των δειγμάτων. Πριν από κάθε μέτρηση το όργανο βαθμονομούνταν με τη βοήθεια πλάκας βαθμονόμησης λευκού χρώματος ( $Y=92.6$ ,  $x=0.3135$ ,  $y=0.3193$ ) και μαύρου χρώματος ( $Y=0.000$ ,  $x=0.000$ ,  $y=0.000$ ). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του χρώματος βασιζόταν στο χρωματικό χώρο CIEL\*a\*b.

Η μεταβολή του χρώματος στο μαρούλι εκφράστηκε μέσω της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ (Total Colour Difference) (εξίσωση 4) ενώ η μεταβολή του πράσινου χρώματος εκφράστηκε από την μεταβολή του χρωματικού παράγοντα  $b^*$ . Επιπλέον υπολογίστηκαν ο χρωματικός κορεσμός C (Chroma) και η χροιά h (hue) από τις εξισώσεις 2 και 3 αντίστοιχα (Λέντζου, 2013).

Οι Pathare κ.ά. 2013 ανέφεραν πως ο χρωματικός κορεσμός ( $C^*$ ), θεωρείται ως ποσοτική ιδιότητα χρώματος και όσο υψηλότερες είναι οι τιμές  $C^*$ , τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ένταση χρώματος που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Από την άλλη, η χροιά ( $h^*$ ), θεωρείται μια ποιοτική χρωματική ιδιότητα σύμφωνα με την οποία τα χρώματα ορίζονται ως κοκκινωπά, πρασινωπά κ.λπ. (Pathare κ.ά., 2013).

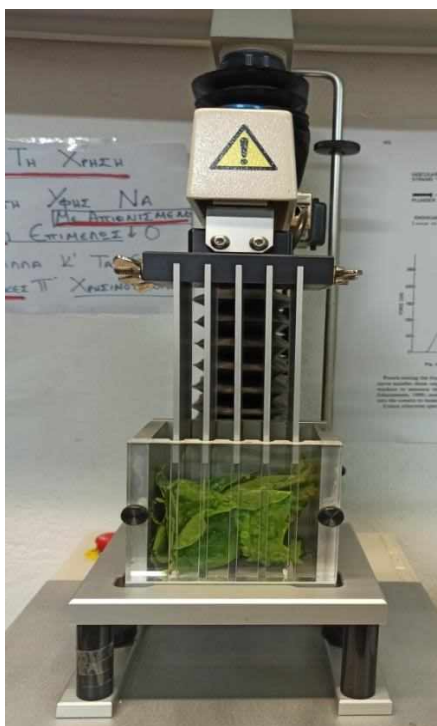


**Εικόνα 9:** Χρωματόμετρο Lovibond RT300.

#### 2.4.4. Υφή

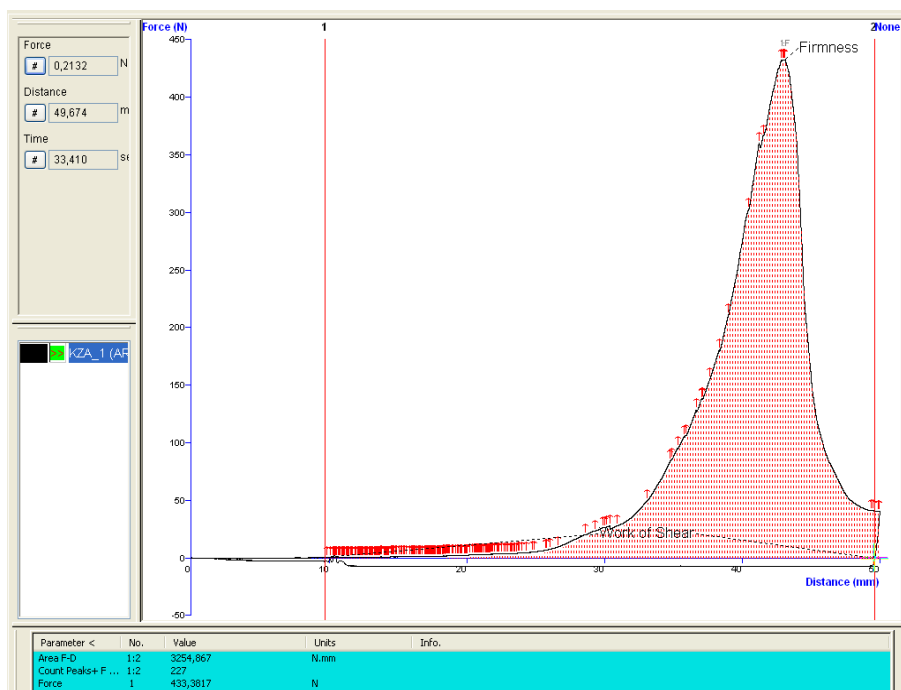
Ο προσδιορισμός της αντίστασης του μαρουλιού στη διάτμηση, μέσω καταστροφικής μεθόδου, έγινε με τον αναλυτή υφής Universal Texture Analyzer TA.XT2i (Stable Micro Systems Ltd., UK) εφοδιασμένο με κελί Kramer, με 5 κοπτικές λεπίδες, στο οποίο τοποθετήθηκαν περίπου 20 g δείγματος (Εικόνα 10). Η ταχύτητα των λεπίδων, αρχομένης της επαφής με το δείγμα, ρυθμίστηκε στη σταθερή ταχύτητα των 1.5mm/min. Η δοκιμή διάτμησης Kramer πραγματοποιήθηκε σε τρία δείγματα μαρουλιού στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικής σειράς. Πριν την έναρξη της δοκιμής τα κομμένα μαρούλια παρέμεναν εκτός των θαλάμων ώστε να αποκτήσουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η επεξεργασία των δεδομένων υφής έγινε με το πρόγραμμα TEXTURE EXPONENT 32 (ver. 6.0.6.0) (Stable Micro Systems Ltd., UK).





**Εικόνα 10:** Αναλυτής υφής.

Από τις καμπύλες δύναμης-παραμόρφωσης, προσδιορίστηκαν οι τιμές της μέγιστης δύναμης (FKMF), του έργου (FKW) και το πλήθος των κορυφών θετικής δύναμης-θραύσεων (FKPP) που απαιτούνται για τη διάτμηση των εξεταζόμενων δειγμάτων, που μετρήθηκαν και παρουσιάζονται στην Εικόνα 11. Αυτές οι «οδοντωτές-κορυφές» είναι τυπικές των πορωδών και εύθρυπτων-τραγανών υλικών κατά τη δοκιμή της συμπίεσης, καθώς πραγματοποιούνται σε διαφορετικά μικρά στάδια. Ο βαθμός τραγανότητας των καμπυλών δύναμης-παραμόρφωσης ποσοτικοποιείται με τη χρήση του αριθμού των θραύσεων κατά τη διάρκεια της συμπίεσης (N) ως ο αριθμός των θετικών κορυφών (τοπικά μέγιστα) μέσα στο οδοντωτό τμήμα της καμπύλης δύναμης-παραμόρφωσης. Σύμφωνα με τους Alvarez κ.ά., (2020) κάθε δείγμα τροφίμου έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη δύναμης-παραμόρφωσης που εξαρτάται από τα δομικά χαρακτηριστικά του, όπως η μεταβολή της θραυστότητάς του (fracturability). Σύμφωνα με το ISO 5492 (2008), ένα τραγανό τρόφιμο χαρακτηρίζεται από υψηλό επίπεδο τραγανότητας που σχετίζεται με τη συνοχή (cohesiveness) και τη σκληρότητα, καθώς και με τη δύναμη που απαιτείται για τη θραύση ενός τροφίμου σε μικρότερα κομμάτια. Το μαρούλι, τα κράκερ, το σέλινο και τα πατατάκια, χαρακτηρίζονται ως τραγανά τρόφιμα, που σπάνε εύκολα όταν παραμορφωθούν, δίνοντας ένα τραγανό ήχο.



**Εικόνα 11:** Χαρακτηριστική καμπύλη δύναμης – παραμόρφωσης κομμένου μαρουλιού κατά τη συνδυασμένη συμπίεση και διάτμηση.

#### 2.4.5. Υπολογισμός αναπνευστικού ρυθμού

Ο ρυθμός αναπνοής ως προς την παραγωγή CO<sub>2</sub> εκτιμήθηκε με την κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας φορητή πειραματική διάταξη (RICKLOS) (Mitropoulos κ.ά., 2000). Το RICKLOS είναι ένα κλειστό-στατικό σύστημα αναπνοής στο οποίο το συσσωρευμένο CO<sub>2</sub> μετράται από ένα φορητό όργανο παρακολούθησης αερίων CO<sub>2</sub> RI-411A (Riken Keiki Co. Ltd., Tokyo, Japan, Εικόνα 12) με ακρίβεια ±2% και διακριτική ικανότητα 25 rpm. Η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής πραγματοποιήθηκε σε τρία δείγματα (60 g το καθένα) ανά μεταχείριση σε αναπνευστικούς θαλάμους. Πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις ανά μεταχείριση (συνολικά εννέα δείγματα). Τα δείγματα αφαιρέθηκαν από τα δοχεία όπου φυλάσσονταν σε προκαθορισμένους χρόνους και τοποθετήθηκαν στους αναπνευστικούς θαλάμους, οι οποίοι ήταν συνδεδεμένοι μέσω δικτύου πλαστικών σωλήνων με το Riken Keiki RI-411A. Ο μέσος χρόνος μέτρησης ήταν δύο ώρες, ώστε να διασφαλιστεί ότι είχε συσσωρευτεί επαρκής ποσότητα CO<sub>2</sub> στους θαλάμους αναπνοής σύμφωνα με την ευαισθησία μέτρησης του οργάνου Riken Keiki RI-411A.



**Εικόνα 12:** Φορητή συσκευή RIKCLOS για μέτρηση της αναπνοής νωπών αγροτικών προϊόντων

Τα δείγματα του κομμένου μαρουλιού τοποθετούνταν εντός του αναπνευστικού θαλάμου (Εικόνα 13) και ο θάλαμος έκλεινε ερμητικά για να καταγραφεί η αρχική ένδειξη. Ο θάλαμος έμενε κλειστός για ικανό χρονικό διάστημα (περίπου 2 ώρες), με σκοπό τη συσσώρευση CO<sub>2</sub> μέσα σε αυτόν, ώστε να επιτευχθεί ικανή διαφορά μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων. Μετά το απαραίτητο χρονικό διάστημα, ακολούθησε άνοιγμα των στροφίγγων για την καταγραφή της τελικής μέτρησης CO<sub>2</sub>.



**Εικόνα 13:** Οι αναπνευστικοί θάλαμοι τοποθετημένοι μέσα στο θάλαμο συντήρησης.

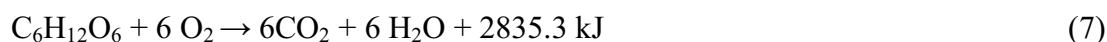
Ο ρυθμός αναπνοής υπολογίστηκε βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$q_R = \left( \frac{\Delta C}{\Delta t} \right) \times \left( \frac{V}{m} \right) \times 10^{-4} \quad (6)$$

όπου  $q_R$  ο ρυθμός αναπνοής σε  $\text{ml}_{\text{CO}_2}/\text{h}/100 \text{ g}$  προϊόντος,  $\Delta C$  η μεταβολή της συγκέντρωσης  $\text{CO}_2$  σε  $\text{ppm}$  ( $\Delta C = C_f - C_i$ ,  $\Delta C > 300 \text{ ppm}$ ),  $C_f$  η συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$  σε  $\text{ppm}$  στην τελική κατάσταση,  $C_i$  η συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  σε  $\text{ppm}$  στην αρχική κατάσταση,  $V$  η διαφορά μεταξύ του όγκου του κυκλώματος της συσκευής ( $V_c$ ) και του όγκου του προϊόντος ( $V_{\text{fit}}$ ) σε  $\text{ml}$ ,  $t$  ο χρόνος σε  $\text{h}$  και  $m$  η μάζα του προϊόντος σε  $\text{g}$ .

Από τα προβλήματα της ποιοτικής υποβάθμισης στην ψυχοσυντήρηση των οπωρολαχανικών είναι η απώλεια μάζας (με τη μορφή υδρατμών) ακόμη και σε σχεδόν μηδενικά ελλείμματα πίεσης υδρατμών (κορεσμός). Θεωρητικά σε αυτό το επίπεδο υγρασίας, ο ρυθμός της διαπνοής μηδενίζεται οπότε οι απώλειες αυτές δεν μπορούν να δικαιολογηθούν πλήρως από αυτό το φαινόμενο. Αυτές οι απώλειες οφείλονται κυρίως στον αναπνευστικό ρυθμό των προϊόντων.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από την βιβλιογραφία για τον υπολογισμό των σακχάρων που συμμετέχουν ενεργά στην αναπνοή, το άθροισμα των ποσοτήτων της γλυκόζης και της φρουκτόζης είναι  $1.19 \text{ g}/100\text{g}$  λαχανικού ( $0.8 \text{ g}/100\text{g}$  λαχανικού φρουκτόζη και  $0.39 \text{ g}/100\text{g}$  λαχανικού γλυκόζη). Από την εξίσωση της πλήρους στοιχειομετρικής καύσης (Εξίσωση 7) προκύπτει ότι:



Συνεπώς για κάθε mole υποστρώματος που καταναλώνεται ( $180 \text{ g}$ ) παράγονται 6 moles νερού ( $108 \text{ g}$ ), 6 moles  $\text{CO}_2$  ( $134.4 \text{ L}$ ) και  $2,835 \text{ kJ}$  με την μορφή θερμότητας. Από την στοιχειομετρία προκύπτει ότι απαιτούνται  $1.34 \times 10^{-3} \text{ g}$  DML (απώλεια ξηράς ουσίας) για την παραγωγή  $1.0 \text{ ml}$   $\text{CO}_2$ . Συνδυάζοντας τα δεδομένα από τη στοιχειομετρία με τη συγκέντρωση των σακχάρων προκύπτει ότι παράγονται  $5.41 \text{ g}$  νερού ανά  $100 \text{ g}$  νωπού λαχανικού. Ενσωματώνοντας τον αναπνευστικό ρυθμό, και με τις απαραίτητες μετατροπές μέσω της περιεχόμενης υγρασίας ώστε να μετατραπούν τα  $\text{g}$  ξηράς ουσίας σε  $\text{g}$  νωπού προϊόντος, προκύπτει η παρακάτω εξίσωση υπολογισμού της απώλειας υγρασίας μέσω της αναπνοής:

$$\text{WL} = 0.008035714 \times \text{RR} \quad (8)$$

όπου  $\text{WL}$  η απώλεια νερού μέσω της διαπνοής σε  $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}/\text{kg}$  νωπού λαχανικού και  $\text{RR}$  ο αναπνευστικός ρυθμός σε  $\text{ml}_{\text{CO}_2}/\text{h}$   $100\text{g}$  νωπού λαχανικού.

#### 2.4.6. Καταγραφή πειραματικών δεδομένων και στατιστική ανάλυση

Η θερμοκρασία και η υγρασία στον ψυκτικό θάλαμο, καταγράφονταν με αισθητήρες Hobo U12 (Onset Computer Corp. Massachusetts, USA) (Εικόνα 14) οι οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro station (Onset Computer Corp. Massachusetts, USA). Οι αισθητήρες ήταν διακριτικής ικανότητας

0.4 °C, 0.5% και ακρίβειας  $\pm 0.7$  °C,  $\pm 3\%$  αντίστοιχα για θερμοκρασία και σχετική υγρασία.

Η στατιστική ανάλυση (ανάλυση διακύμανσης) και η μη γραμμική παλινδρόμηση των πειραματικών δεδομένων, έγινε με το στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Virginia, USA) σε επίπεδο σημαντικότητας  $P \leq 0.05$ . Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων περιελάμβανε πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (Multifactor ANOVA) καθώς και μη γραμμική παλινδρόμηση.



**Εικόνα 14:** Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας Hobo U12.

#### **2.4.6.1 Κατανομή Weibull**

Η κατανομή η οποία μπορεί να περιγράψει την μεταβολή της χρωματικής έντασης στο χώρο αλλά και στο χρόνο δίνοντας ταυτόχρονα άμεση πληροφορία για τη γήρανση του φυτικού ιστού είναι η στατιστική κατανομή Weibull (Life Data Analysis). Συγκεκριμένα, αυτή η κατανομή χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της συμπεριφοράς ενός ζωντανού οργανισμού (η οποία μπορεί να έχει σχέση είτε με τη διαδικασία ανάπτυξης είτε με τη διαδικασία γήρανσης) μέσω της προσαρμογής αντιπροσωπευτικών πειραματικών δεδομένων σε μια στατιστική κατανομή. Αυτή η παραμετροποιημένη κατανομή των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλεφθούν σημαντικές φάσεις στη ζωή ενός οργανισμού όπως την αξιοπιστία ή αντίστοιχα την πιθανότητα αστοχίας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, την μέση διάρκεια ζωής και το ποσοστό αποτυχίας.

Η επιλογή αυτή έγινε καθώς τα δεδομένα, όπως και στις περισσότερες περιπτώσεις, μελετών που αφορούν ζωντανούς οργανισμούς, δεν ακολουθούσαν κανονική κατανομή καθώς και ότι η κατανομή Weibull μπορεί να εφαρμοστεί με μια πληθώρα μορφών (είτε με έναν παράγοντα είτε ως πολυπαραγοντική). Επιπλέον, η κατανομή Weibull επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτίμηση τόσο της συνήθους αναλογίας

κινδύνου όσο και της αναλογίας του χρόνου εκδήλωσης μιας ιδιότητας, επιτρέποντας μια πιο ενδεδειγμένη εξέταση της αναλογικότητας συνεπώς παρέχει ένα μοντέλο πρόβλεψης το οποίο όχι μόνο προβλέπει την συμπεριφορά ενός ζωντανού δείγματος αλλά «ωριμάζει» τα δεδομένα ώστε να ανταπεξέρχονται καλύτερα σε βάθος χρόνου. (Αλειφέρης, 2016)

Η συνάρτηση της πυκνότητας των πιθανοτήτων της κατανομής Weibull περιγράφεται ως εξής (Rinne, 2009):

$$f(x) = \left\{ \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right] \right\}, x > 0 \quad (9)$$

με  $\alpha > 0$  και  $\beta > 0$ , όπου  $\alpha$  η παράμετρος κλίμακας (scale parameter) ως σταθερά ρυθμού αντίδρασης (reaction rate constant),  $\beta$  η παράμετρος σχήματος (shape parameter) ως δείκτη συμπεριφοράς (behavior index) και  $\gamma$  τοπική παράμετρος (location parameter) που εντοπίζει την κατανομή κατά μήκος της τετμημένης.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Ρυθμός αναπνοής και απώλεια μάζας

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τα δεδομένα του ρυθμού αναπνοής (Πίνακας 3) έδειξε ότι η αλληλεπίδραση του χρόνου αποθήκευσης με τους οκτώ χειρισμούς που εξετάστηκαν επηρέασε σημαντικά τον εκτιμώμενο ρυθμό αναπνοής ( $P \leq 0.05$ ).

**Πίνακας 3:** Πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης του ρυθμού αναπνοής συναρτήσει των πειραματικών παραμέτρων.

Παράγοντες	df	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ημέρες)	4	116.12	$\leq 0.001^*$
B: Χειρισμός	7	42.18	$\leq 0.001^*$
Αλληλεπίδραση A×B	28	3.25	$\leq 0.001^*$

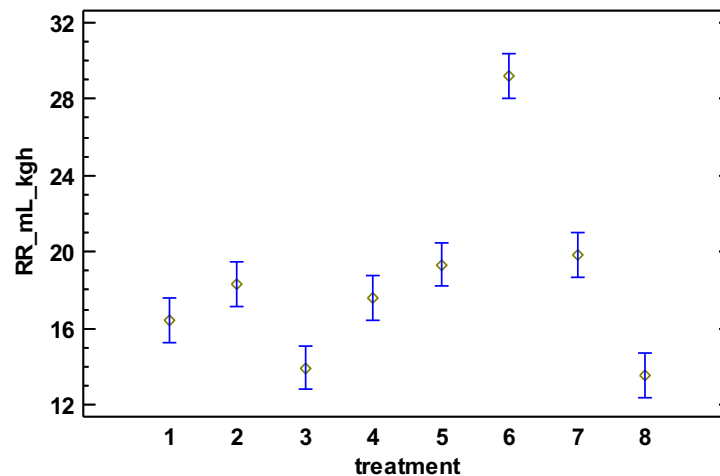
\*= σημαντικότητα για  $P \leq 0.05$ , df= βαθμοί ελευθερίας

Ο μέσος ρυθμός αναπνοής ανά χειρισμό παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Η τιμή μέσου ρυθμού αναπνοής για τον μάρτυρα, της χρήσης UV για 30 s και τον συνδυασμό χρήσης UV για 120 s με όζον βρίσκονται εντός του εύρους που αναφέρεται από τον Saltveit (1997) για το μαρούλι: 12-17.5 mLCO<sub>2</sub>/kg h, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4 ενώ για τους υπόλοιπους χειρισμούς ο μέσος ρυθμός αναπνοής αυξήθηκε. Συγκεκριμένα, οι χειρισμοί UV-C αυξανόμενου του χρόνου χρήσης προκάλεσαν αύξηση στο ρυθμό αναπνοής, ενώ στην περίπτωση συνδυαστικών χειρισμών (UV+O<sub>3</sub>) ο ρυθμός αναπνοής εμφάνισε μια μέγιστη τιμή στο χειρισμό UV (60s)+O<sub>3</sub>, πιθανώς λόγω του συνδυασμού των δύο χειρισμών UV και O<sub>3</sub>.

**Πίνακας 4:** Τιμές μέσου ρυθμού αναπνοής ανά χειρισμό (οι αριθμοί στην παρένθεση αφορούν τον α/α χειρισμού)

Χειρισμός	Μέσος ρυθμός αναπνοής (mLCO <sub>2</sub> /kg h)
Μάρτυρας (1)	17.4±6.2
O <sub>3</sub> (2)	20.2±7.1
UV (30 s) (3)	14.2±4.8
UV (60 s) (5)	19.6±4.4
UV (120 s) (6)	29.5±7.4
UV (30 s)+ O <sub>3</sub> (4)	19.1±8.7
UV (60 s)+ O <sub>3</sub> (7)	22.2±8.7
UV (120 s)+ O <sub>3</sub> (8)	15.2±8.4

Οι Allende και Artes (2003) αξιολογώντας τον ρυθμό αναπνοής φρέσκου ελάχιστα επεξεργασμένου μαρουλιού ‘Lollo Rosso’ με ακτινοβολία UV-C, ανέφεραν αύξηση του ρυθμού αναπνοής από 21.1 mLCO<sub>2</sub>/kg h για δείγματα μάρτυρα, σε 31.8 mLCO<sub>2</sub>/kg h για δείγματα που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με πυκνότητα ροής ενέργειας (fluence) UV-C 2.44 kJ/m<sup>2</sup>, σε 38.9 mLCO<sub>2</sub>/kg h για δείγματα που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με ακτινοβολία UV-C 4.06 kJ/m<sup>2</sup> και σε 41.8 mLCO<sub>2</sub>/kg h σε δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με ροή ακτινοβολίας UV-C 8.14 kJ/m<sup>2</sup>.

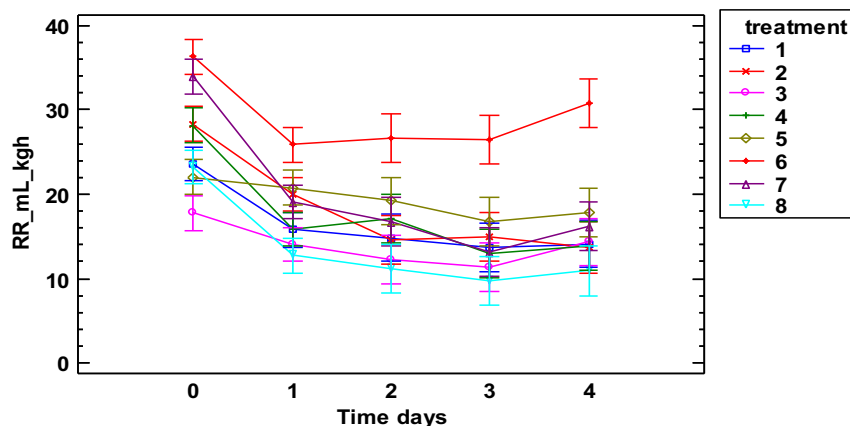


**Σχήμα 1:** Μέσος ρυθμός αναπνοής ανά χειρισμό. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές.

Στην παρούσα μελέτη, οι εκτιμώμενοι ρυθμοί αναπνοής ήταν χαμηλότεροι από εκείνους των Allende και Artes (2003), δεδομένου ότι η υψηλότερη χρησιμοποιούμενη ροή πυκνότητας ακτινοβολίας UV-C ήταν 1.65 kJ/m<sup>2</sup>. Ειδικότερα, η επιλεγμένη δόση O<sub>3</sub> και σε συνδυασμό με ακτινοβολία UV οδήγησαν σε μέσους ρυθμούς αναπνοής που ήταν κοντά στην τιμή του μάρτυρα 17.4 mLCO<sub>2</sub>/kg h και κυμαίνονταν μεταξύ 14.2-22.2 mLCO<sub>2</sub>/kg h, έχοντας μόνο μία τιμή σημαντικά υψηλότερη από τις άλλες τιμές που αντιστοιχούσε στον ρυθμό αναπνοής UV (120 s) - 1.65 kJ/m<sup>2</sup>, η οποία είχε μέση τιμή 29.5 mLCO<sub>2</sub>/kg h. Με βάση τα τελευταία ευρήματα και τις τιμές που ανέφεραν οι Allende και Artes (2003), μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι υπάρχει ένα όριο στην εφαρμογή της UV-C, πέρα από το οποίο, ο ρυθμός αναπνοής αυξάνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα τη μείωση της συντηρησιμότητας των νωπών προϊόντων.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με το χρόνο για κάθε χειρισμό που εξετάστηκε. Από το σχήμα γίνεται αντιληπτό ότι ο χειρισμός με ακτινοβολία UV-C για 120 s (6) είχε τον υψηλότερο αναπνευστικό ρυθμό καθόλη τη διάρκεια της συντήρησης. Οι χειρισμοί UV-C για 30 s (3) και UV-C για 60 s (5) παρουσίασαν την μικρότερη μεταβολή κατά τη διάρκεια της συντήρησης σε σχέση με την αρχή της συντήρησης των δειγμάτων.





**Σχήμα 2:** Ρυθμός αναπνοής συναρτήσει χρόνου συντήρησης. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση των μέσων τιμών. Κάθε σημείο είναι ο μέσος όρος 9 δειγμάτων.

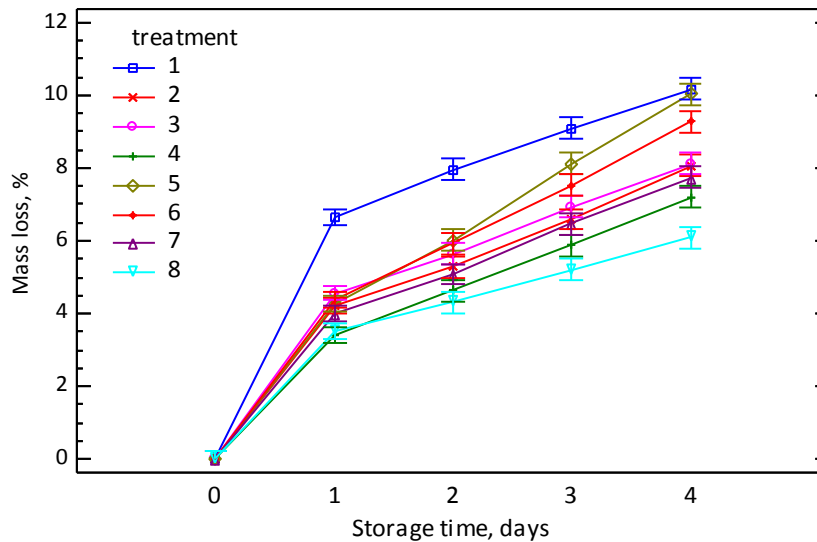
Αντίστοιχα με τον ρυθμό αναπνοής, η ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τα δεδομένα της απώλειας μάζας (Πίνακας 5) έδειξε ότι η αλληλεπίδραση του χρόνου αποθήκευσης με τους οκτώ εξεταζόμενους χειρισμούς επηρέασε σημαντικά την απώλεια μάζας ( $P \leq 0.05$ ).

**Πίνακας 5:** Πολυπαραγοντική ανάλυση διασποράς της απώλειας μάζας συναρτήσει των πειραματικών παραγόντων.

Παράγοντες	df	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ημέρες)	4	2688.77	$\leq 0.001^*$
B: Χειρισμός	7	114.57	$\leq 0.001^*$
Αλληλεπίδραση A×B	28	13.40	$\leq 0.001^*$

\*= σημαντικότητα για  $P \leq 0.05$ , df= βαθμοί ελευθερίας

Οι προχειρισμοί που εφαρμόστηκαν προκάλεσαν διαφορετικό βαθμό απωλειών μάζας όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3, παρότι όλα τα δείγματα αποθηκεύτηκαν χωρίς συσκευασία και στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ( $5.7 \pm 0.3$  °C και  $91.95 \pm 3.7\%$ ). Από τον Πίνακα 6, φαίνεται ότι οι μέγιστες τιμές της απώλειας μάζας ανά χειρισμό (την τελευταία μέρα της συντήρησης) κυμάνθηκαν μεταξύ 7-12%. Τα περισσότερα λαχανικά καθίστανται μη εμπορεύσιμα όταν η απώλεια μάζας κυμαίνεται μεταξύ 5-10% του αρχικού τους βάρους (Robison κ.ά., 1975). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι χειρισμοί που αφορούσαν τη συνδυασμένη εφαρμογή UV και  $O_3$  παρουσίασαν τις μικρότερες μέγιστες απώλειες μάζας (7.47-9.71%) σε σύγκριση με τους υπόλοιπους χειρισμούς που παρουσίασαν υψηλότερες απώλειες μάζας που κυμάνθηκαν μεταξύ 10.55-11.68%. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί είτε από ένα οξειδωτικό στρες που προκαλεί μεταβλητό βαθμό αύξησης του ρυθμού αναπνοής ή και αλλαγές στην κυτταρική δομή του φρέσκου κομμένου μαρουλιού που διευκολύνει την κυτταρική και ενδοκυτταρική μεταφορά νερού.



**Σχήμα 3:** Απώλεια μάζας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης ανά χειρισμό. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση των μέσων τιμών. Κάθε σημείο είναι ο μέσος όρος 9 δειγμάτων.

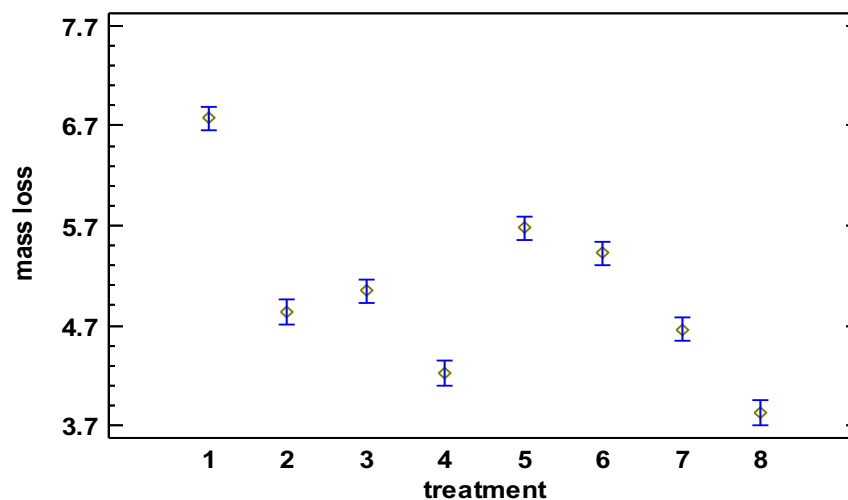
**Πίνακας 6:** Τιμές μέσης και μέγιστης απώλειας μάζας ανά χειρισμό. Οι αριθμοί στην παρένθεση αφορούν τον α/α χειρισμού.

Χειρισμός	Μέση απώλεια μάζας (%)	Μέγιστη απώλεια μάζας (%)
Μάρτυρας (1)	5.78±3.1%	11.22%
O <sub>3</sub> (2)	4.01±2.9%	11.12%
UV (30 s) (3)	4.25±3.0%	11.06%
UV (60 s) (5)	4.66±3.6%	11.68%
UV (120 s) (6)	4.49±3.3%	10.55%
UV (30 s)+ O <sub>3</sub> (4)	3.50±2.6%	9.71%
UV (60 s)+ O <sub>3</sub> (7)	3.90±2.8%	8.99%
UV (120 s)+ O <sub>3</sub> (8)	3.23±2.3%	7.47%

Οι Allende και Artes (2003), διεξάγοντας πειράματα με χρήση ακτινοβολίας UV-C σε μαρούλι Lollo Rosso με διαφορετικές τιμές πυκνότητας ροής (0.4, 0.81, 2.44, 4.07 και 8.14 kJ/m<sup>2</sup>), παρατήρησαν αύξηση της τραγανότητας του μαρουλιού, η οποία αποδόθηκε σε διεργασίες που προσομοιάζουν της λιγνιτοποίησης και προκαλούνται από τον ιστό του μαρουλιού ώστε να προστατευθεί από την επίδραση της ακτινοβολία UV-C. Η διαδικασία αυτή παρατηρήθηκε και στην παρούσα μελέτη και θα αναλυθεί παρακάτω. Ο Dean (2018) ανέφερε, ότι οι μονάδες λιγνίνης (ανθεκτικό πολυμερές των φαινυλοπροπανοειδών) που δημιουργούνται συνδέονται σε ένα πολύπλοκο και ακανόνιστο δίκτυο που ποικίλλει από είδος σε είδος, από ιστό σε ιστό και από κύτταρο σε κύτταρο, χρησιμοποιώντας αυτό το δίκτυο, για να

ενισχύσουν τους αγγειακούς ιστούς τους ώστε να δημιουργηθεί ένα φράγμα στην απώλεια νερού. Επομένως, είναι πιθανό ότι οι εφαρμοζόμενοι συνδυαστικοί χειρισμοί UV και O<sub>3</sub>, UV (30 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L), UV (60 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L), UV (120 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L) προκάλεσαν μια διαδικασία που μοιάζει με αυτή της λιγνιτοποίησης, η οποία με τη σειρά της μείωσε την απώλεια μάζας σε σύγκριση με τους άλλους χειρισμούς. Η προηγούμενη συζήτηση βασίζεται σε θεωρητική ανάλυση και απαιτείται περαιτέρω πειραματική διερεύνηση όσον αφορά την ποσοτικοποίηση της λιγνίνης ανά χειρισμό. Ο Dean (2018) εξήγησε τις δυσκολίες στον υπολογισμό της λιγνίνης αναφέροντας ότι δεν υπάρχουν απόλυτες μέθοδοι για τον ποσοτικό προσδιορισμό της λιγνίνης και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η λιγνίνη θα πρέπει να μετράται με τη χρήση δύο ή περισσότερων μεθόδων που βασίζονται σε ανεξάρτητες φυσικές ή χημικές ιδιότητες. Τα αποτελέσματα των μεθόδων αυτών θα πρέπει να θεωρούνται σχετικές τιμές οι οποίες μπορεί να είναι κατάλληλες ή όχι για σύγκριση με εκείνες που λαμβάνονται από άλλους ιστούς με άλλες τεχνικές.

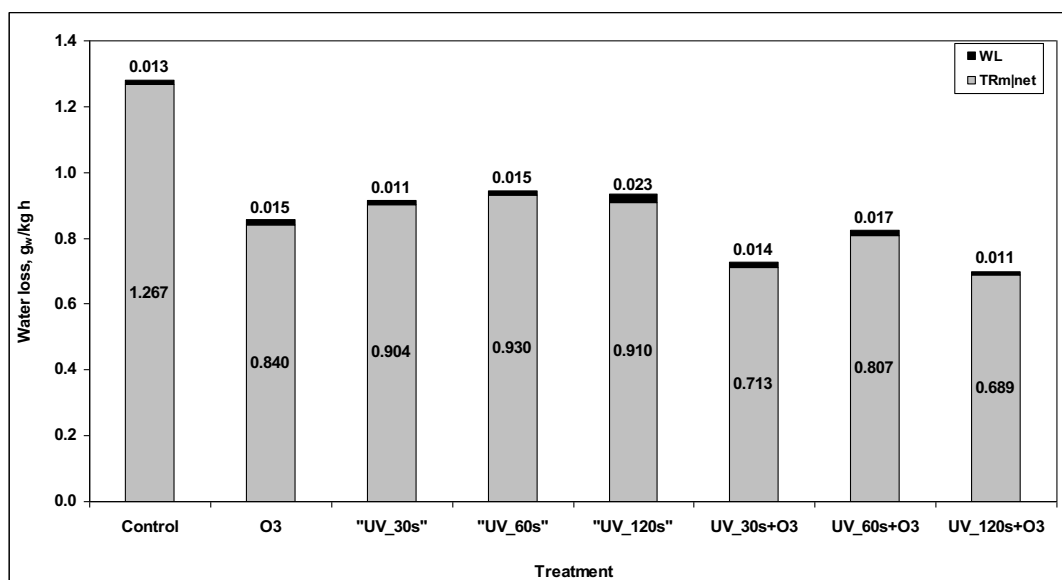
Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης απώλειας μάζας για τους οκτώ διαφορετικούς χειρισμούς. Όπως και στο προηγούμενο σχήμα επιβεβαιώνεται η διαφορετικότητα στα επίπεδα της απώλειας μάζας. Στο σχήμα 4 φαίνεται ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, η αποθήκευση φρέσκου κομμένου μαρουλιού χωρίς συσκευασία προκάλεσε υπερβολική απώλεια μάζας, η οποία ξεπέρασε το προηγούμενο αναφερόμενο επιτρεπτό κατώτατο όριο του 5%, αλλά όχι το ανώτερο όριο του 10% (μέσες τιμές).



**Σχήμα 4:** Μέση απώλεια μάζας ανά χειρισμό. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές.

### 3.2 Ποσοτικοποίηση των απωλειών νερού από διαπνοή και αναπνοή

Οι απώλειες νερού όπως αυτές υπολογίστηκαν από τα πειραματικά δεδομένα  $TR_m$ , περιέχουν τόσο το νερό που απωλέσθηκε από το έλλειμμα πίεσης υδρατμών όσο και αυτό από την αναπνοή του προϊόντος. Ο διαχωρισμός αυτών των δύο για την καλύτερη μελέτη του φαινομένου δεν είναι εύκολος και απαιτεί τον υπολογισμό πρώτα του νερού που παράγεται κατά την αερόβια αναπνοή των προϊόντων όπως αυτή υπολογίζεται από την Εξίσωση 8. Από την αφαίρεση των αντιστοιχών ποσοτήτων νερού μέσω της σχέσης  $TR_{mnet} = TR_m - WL$  ( $g_w/kg h$ ) είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση των επιμέρους συνεισφορών στην απώλεια νερού από το φυσικό φαινόμενο της εξάτμισης νερού λόγω του ελλείμματος πίεσης των υδρατμών και του αντίστοιχου φυσιολογικού φαινομένου απώλειας νερού λόγω αναπνοής. Στο σχήμα 5 παρουσιάζονται αυτές οι επιμέρους απώλειες νερού για όλες τις πειραματικές περιπτώσεις. Από το διάγραμμα αυτό είναι σαφές πως η συνεισφορά της αναπνοής στην απώλεια νερού ήταν μικρή συγκριτικά με την απώλεια που προκύπτει από την αναπνοή. Από την ποσοτικοποίηση των απωλειών νερού προκύπτει ότι οι απώλειες νερού λόγω αναπνοής εκτιμώνται στο 1.0-2.5% επί των απωλειών λόγω του ρυθμού διαπνοής.



**Σχήμα 5:** Αθροιστικό ιστόγραμμα των πειραματικών τιμών της καθαρής απώλειας νερού μέσω της διαπνοής ( $TR_{mnet} = TR_m - WL$ ) και της αντίστοιχης απώλειας νερού μέσω της αναπνοής WL (εξίσωση 8) για όλους τους πειραματικούς χειρισμούς.

Από τον Πίνακα 7 γίνεται αντιληπτό ότι ο ρυθμός διαπνοής είναι μειωμένος σε σχέση με αυτόν του μάρτυρα για όλους τους χειρισμούς. Το ποσοστό μείωσης του ρυθμού διαπνοής ήταν μεγαλύτερο για τους χειρισμούς όπου εφαρμόστηκε ακτινοβολία UV-C σε συνδυασμό με όζον. Στην περίπτωση των συνδυαστικών χειρισμών το ποσοστό μείωσης κυμάνθηκε μεταξύ 35.64-45.32%, σε παρόμοιο επίπεδο με αυτό όπου εφαρμόστηκε μόνο όζον στα δείγματα (33.17%), ενώ για τους χειρισμούς όπου εφαρμόστηκε μόνο ακτινοβολία UV-C κυμάνθηκε μεταξύ 26.14-28.51%.

**Πίνακας 7:** Ρυθμός διαπνοής (g/kg h) ανά χειρισμό. Οι αριθμοί στην παρένθεση αφορούν τον α/α χειρισμού.

Χειρισμός	Ρυθμός διαπνοής, TR <sub>m</sub> (g/kg h)
Μάρτυρας (1)	1.280
O <sub>3</sub> (2)	0.855
UV (30 s) (3)	0.915
UV (60 s) (5)	0.945
UV (120 s) (6)	0.933
UV (30 s)+ O <sub>3</sub> (4)	0.727
UV (60 s)+ O <sub>3</sub> (7)	0.824
UV (120 s)+ O <sub>3</sub> (8)	0.700

### 3.3 Υφή

Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται μια τυπική καμπύλη δύναμης-παραμόρφωσης του φρέσκου κομμένου μαρουλιού κατά τη συνδυασμένη συμπίεση και διάτμηση, που δημιουργείται από ένα κελί διάτμησης Kramer 5 λεπίδων. Αρχικά, η πίεση των πέντε λεπίδων στα δείγματα μαρουλιού προκάλεσε συμπίεση των μικροδομών καθώς αυξάνεται το φορτίο της δύναμης του αναλυτή υφής και στη συνέχεια οι 5 λεπίδες διαπέρασαν τα δείγματα πριν περάσουν από τις σχισμές της πλάκας του κελιού. Σε αυτή τη δοκιμή τα δείγματα μαρουλιού τεμαχίζονται σε μικρά κομμάτια σε βαθμό θρυμματισμού (fragmentation degree), παρόμοιο με αυτό που λαμβάνει χώρα κατά τη μάσηση. Η ικανότητα των στερεών τροφίμων να αντιστέκονται στη συμπίεση και τη διάτμηση εκφράστηκε από τη μέγιστη δύναμη (FKMF), την απορροφούμενη ενέργεια ή δαπανώμενο έργο (FKW), η κόκκινη περιοχή κάτω από την καμπύλη (βλ. Εικόνα 11) και ο βαθμός τραγανότητας (FKPP), τα κόκκινα βέλη, που φαίνονται επίσης στην ίδια καμπύλη δύναμης- παραμόρφωσης όπως προτείνουν και οι Nath & Chattopadhyay (2007) στη μελέτη τους.

Η ανάλυση διασποράς των τριών ιδιοτήτων υφής (FKMF, FKW και FKPP) όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και τους οκτώ εξεταζόμενους χειρισμούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 8, από όπου φαίνεται ότι η μέγιστη δύναμη επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο αποθήκευσης και τους χειρισμούς που εξετάστηκαν αλλά όχι από την αλληλεπίδρασή τους. Το έργο επηρεάστηκε σημαντικά από την αλληλεπίδραση του χρόνου αποθήκευσης (ημέρες) και των οκτώ χειρισμών και τέλος οι θετικές κορυφές επηρεάστηκαν σημαντικά από την αλληλεπίδραση του χρόνου αποθήκευσης (ημέρες) και των οκτώ χειρισμών.

**Πίνακας 8:** Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τη Μέγιστη δύναμη (N), το Δαπανώμενο Έργο (J) και το Βαθμό τραγανότητας με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και χειρισμούς.

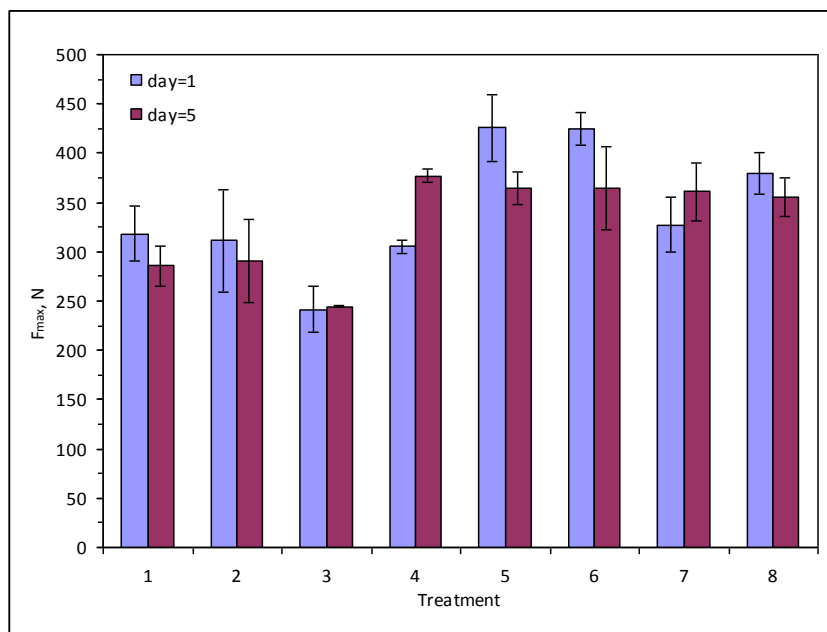
Παράγοντες	Μέγιστη δύναμη (N)			Έργο (J)		Βαθμός τραγανότητας	
	df	F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (μέρες)	1	4.30	0.0464*	1.55	0.2230 <sup>NS</sup>	14.75	0.0005*
B: Χειρισμοί	7	16.51	≤0.001*	11.71	≤0.001*	3.33	0.0089*
Αλληλεπίδραση AB	7	1.24	0.3106NS	2.81	0.0212*	2.80	0.0216*

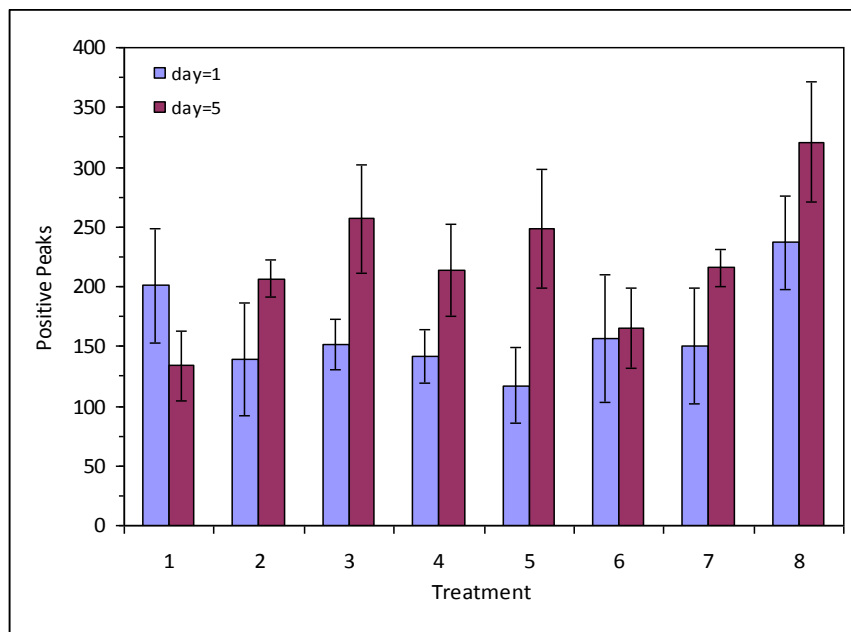
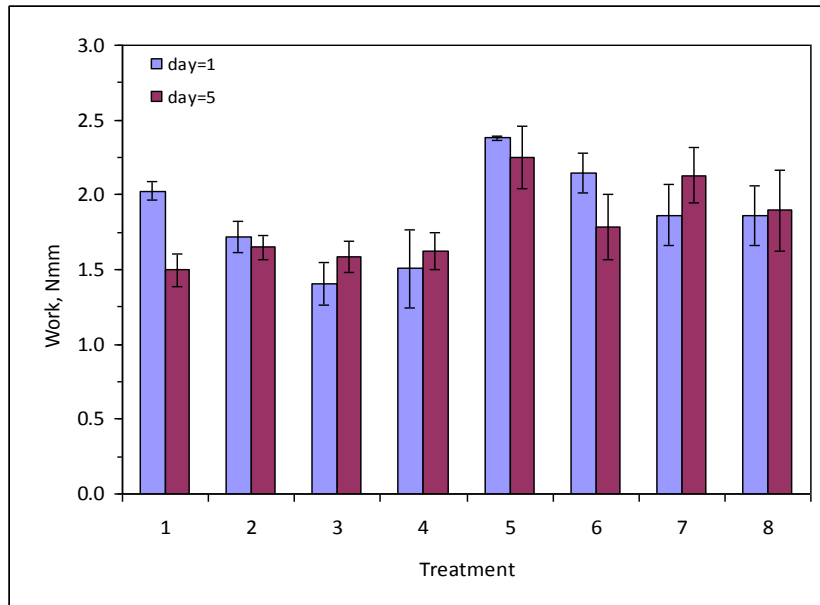
\*= σημαντικότητα για  $P \leq 0.05$ , df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Οι Allende και Artes (2003), διεξάγοντας πειράματα UV-C με μαρούλι Lollo Rosso σε διαφορετικές τιμές πυκνότητας ροής (0.4, 0.81, 2.44, 4.07 και 8.14 kJ/m<sup>2</sup>), ανέφεραν αύξηση της τραγανότητας του μαρουλιού, η οποία αποδόθηκε σε πιθανές διεργασίες που μοιάζουν με αυτές της λιγνιτοποίησης και προκαλούνται από τον ιστό του μαρουλιού για να προστατευτεί από την καταπόνηση από τη χρήση της ακτινοβολίας UV-C. Οι Allende κ.ά. (2006) επεξεργάστηκαν φρέσκο κομμένο μαρούλι ποικιλίας "Red Oak leaf" με τρεις χειρισμούς ακτινοβολίας UV-C πυκνότητας ροής 2.36, 4.74 και 14.22 kJ/m<sup>2</sup> και ανέφεραν περιορισμένη ή καμία επίδραση στην περιεκτικότητα σε σάκχαρα ή οργανικά οξέα του επεξεργασμένου μαρουλιού. Η υψηλότερη πυκνότητα (14.22 kJ/m<sup>2</sup>) προκάλεσε απώλεια υφής και καστανώση μετά από 7 ημέρες αποθήκευσης στους 5 °C, ενώ η πυκνότητα UV-C κάτω από 4.74 kJ/m<sup>2</sup> δεν προκάλεσε καμία βλάβη στον ιστό του μαρουλιού.

Από τη στατιστική ανάλυση που φαίνεται στον Πίνακα 8 παρατηρείται ότι οι χειρισμοί που εφαρμόστηκαν επηρέασαν σημαντικά τις τρεις ιδιότητες της υφής (μέγιστη δύναμη, δαπανώμενο έργο και βαθμό τραγανότητας) αλλά σε διαφορετικό βαθμό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Ενδιαφέρον είναι ότι ο βαθμός τραγανότητας (θετικές κορυφές) όσον αφορά την εφαρμογή O<sub>3</sub>, την εφαρμογή UV-C [UV (30 s), UV (60 s), UV (120 s)] και τους συνδυασμούς UV-C+O<sub>3</sub> [UV (30 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L), UV (60 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L), UV (120 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L)] αυξήθηκαν στο τέλος της ψυχρής αποθήκευσης (t=5η ημέρα) του κομμένου ασυσκευάστου μαρουλιού σε ένα εύρος από 35% έως 112% του αρχικού (t=1η ημέρα) αριθμού θετικών κορυφών (FKPP). Η προαναφερθείσα απόκριση που παρατηρείται στο Σχήμα 6 είναι συστηματική στους χειρισμούς με συνδυαστική χρήση UV-C+O<sub>3</sub>. Συγκεκριμένα, το πλήθος των θετικών κορυφών (FKPP) και το έργο που δαπανήθηκε (FKW) παρουσίασαν για τους χειρισμούς UV (30 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L), UV(60 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L) και UV(120 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L) αντίστοιχα 50.6%, 43.5%, 35.6% και 12.7%, 9.0%, 1.9% αύξηση μεταξύ της αρχικής (t=1η ημέρα) και της τελικής ημέρας (t=5η ημέρα). Αυτή η αλλαγή της υφής, έδειξε ότι η απώλεια μάζας σε όρους απώλειας νερού κατά τη διάρκεια της

ψυχροσυντήρησης, παρόλο που πραγματοποιήθηκε υπό τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας αέρα και σχετικής υγρασίας, παρουσίασε διαφορετικές αποκρίσεις όσον αφορά τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν. Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από τη διαφορετική επίδραση που είχαν οι χειρισμοί στο κομμένο μαρούλι και ειδικότερα ο συνδυασμός UV-C και O<sub>3</sub> στο τελικό προϊόν. Το σημείο αυτό χρήζει περαιτέρω διερεύνησης με όρους ανάλυσης ηλεκτρονικής μικροσκοπίας για τον εντοπισμό πιθανής συσσώρευσης λιγνίνης, όπως συζητήθηκε προηγουμένως, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει την τραγανότητα των δειγμάτων κομμένου μαρουλιού. Οι Glowacz κ.ά., (2015) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση του O<sub>3</sub> ως απολυμαντικό, αποτελεί μια απλή και εφικτή λύση για τη βιομηχανία νωπών προϊόντων, μειώνοντας τη μικροβιακή μόλυνση, αλλά είναι επίσης σημαντικό να καθοριστούν οι κατάλληλες συγκεντρώσεις, ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της ευεργετικής μείωσης της μικροβιακής μόλυνσης και της ασφάλειας της ποιότητας, όσον αφορά την απώλεια βάρους, την υφή, την οπτική ποιότητα και την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά. Έτσι, με βάση τα παραπάνω και το Σχήμα 6, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι συνολικά, η τραγανότητα του φρεσκοκομμένου μαρουλιού από την άποψη των θετικών κορυφών (FKPP) βελτιώθηκε σε σύγκριση με τα δείγματα του μάρτυρα στα οποία το πλήθος των θετικών κορυφών (FKPP) μειώθηκε κατά 33.3% λόγω της σημαντικής απώλειας μάζας (βλ. Σχήμα 3). Η απόκριση αυτή συμφωνεί με άλλες δημοσιευμένες μελέτες (Robison κ.ά., 1975; Miller κ.ά., 2013; Glowacz κ.ά., 2015; Sarron κ.ά., 2021), όπου διαπιστώθηκε ότι η κατάλληλη πυκνότητα UV-C και οι συγκεντρώσεις O<sub>3</sub> σε συνδυασμό με τους κατάλληλους χρόνους εφαρμογής, μειώνουν την απώλεια μάζας και βελτιώνουν την ποιότητα της υφής. Στην παρούσα μελέτη, η απόκριση αυτή βρέθηκε να είναι πιο έντονη για τους χειρισμούς που έγινε συνδυαστική χρήση UV-C και O<sub>3</sub>.





**Σχήμα 6:** Τιμές της μέγιστης δύναμης, του έργου και των θετικών κορυφών για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν [1=μάρτυρας, 2=O<sub>3</sub>(5 mg/mL), 3=UV(30 s), 4=UV(30 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L), 5=UV(60 s), 6= UV(120 s), 7=UV(60 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L), 8=UV(120 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L)] για την αρχική και τελική ημέρα συντήρησης. Κάθε σημείο αντιστοιχεί στο μέσο όρο 9 δειγμάτων. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση των μέσων τιμών.



### 3.4 Χρώμα

Η ανάλυση διακύμανσης των δεικτών του χρώματος ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*/b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^*$  και  $\Delta E^*$ ) όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και τους οκτώ χειρισμούς παρουσιάζεται στον Πίνακα 9, όπου ο δείκτης  $L^*$  επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο αποθήκευσης και τους χειρισμούς, αλλά όχι από την αλληλεπίδρασή τους. Ο δείκτης  $a^*$  επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο αποθήκευσης και τους χειρισμούς, καθώς και από την αλληλεπίδρασή τους. Ο δείκτης  $b^*$  επηρεάστηκε σημαντικά μόνο από τους χειρισμούς. Ο δείκτης  $a^*/b^*$  επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο αποθήκευσης και τους χειρισμούς καθώς και από την αλληλεπίδρασή τους. Ο δείκτης  $C^*$  επηρεάστηκε σημαντικά από τους χειρισμούς καθώς και από την αλληλεπίδρασή τους με τον χρόνο αποθήκευσης. Ο δείκτης  $h^*$  επηρεάστηκε σημαντικά μόνο από την αλληλεπίδραση του χρόνου αποθήκευσης και των χειρισμών και τέλος ο δείκτης  $\Delta E^*$  επηρεάστηκε σημαντικά μόνο από τον χρόνο αποθήκευσης.

**Πίνακας 9:** Ανάλυση διασποράς των χρωματικών παραγόντων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*/b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^*$  and  $\Delta E^*$  με το χρόνο αποθήκευσης και τους χειρισμούς.

Παράγοντες	df	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (μέρες)	4	2.55	0.038*	6.28	0.001*	1.01	0.3994 <sup>NS</sup>
B: Χειρισμοί	7	5.76	$\leq 0.001^*$	5.30	$\leq 0.001^*$	11.90	$\leq 0.001^*$
Αλληλεπίδραση AB	28	0.85	0.6959 <sup>NS</sup>	2.02	0.0013*	1.39	0.0844 <sup>NS</sup>
Παράγοντες	df	$a^*/b^*$		$C^*$		$h^*$	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (μέρες)	4	9.93	$\leq 0.001^*$	0.89	0.4722 <sup>NS</sup>	6.17	0.0001*
B: Χειρισμοί	7	5.66	$\leq 0.001^*$	11.12	$\leq 0.001^*$	3.32	0.0017*
Αλληλεπίδραση AB	28	1.59	0.0027*	1.50	0.0453*	1.78	0.2774 <sup>NS</sup>
Παράγοντες	df	$\Delta E^*$					
		F-Ratio	P-Value				
A: Χρόνος (μέρες)	4	7.67	$\leq 0.001^*$				
B: Χειρισμοί	7	1.17	0.3181 <sup>NS</sup>				
Αλληλεπίδραση AB	28	0.72	0.7634 <sup>NS</sup>				

\*= σημαντικότητα για  $P \leq 0.05$ , df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό

Κατά τη διάρκεια της συντήρησης του ασυσκευάστου φρέσκου κομμένου μαρουλιού, λαμβάνει χώρα υποβάθμιση του πράσινου χρώματος των φύλλων, η οποία προκαλείται από την απώλεια χλωροφύλλης, μια διαδικασία που προηγείται αυτής της απώλειας του πράσινου χρώματος (Xanthopoulos κ.ά., 2016). Αυτή η υποβάθμιση του χρώματος εκφράζεται ως μετατροπή του πράσινου χρώματος των κομμένων φύλλων σε κίτρινο. Σε αυτό το πλαίσιο, οι κύριοι δείκτες χρώματος που έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο αντιπροσωπευτικοί αυτής της μετατροπής του χρώματος (από πρασινωπό σε κιτρινωπό) είναι ο κορεσμός (Chroma) και η χροιά (hue, h). Οι Pathare κ.ά., (2013) πρότειναν ότι για την αξιολόγηση του χρώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παράγοντας του κορεσμού ( $C^*$ ) ως ποσοτικό χαρακτηριστικό και η χροιά ( $h^*$ ) ως ποιοτικό χαρακτηριστικό. Η προσέγγιση αυτή υιοθετήθηκε στην παρούσα μελέτη, δεδομένου ότι η ανάλυση χρώματος που διεξήχθη επικεντρώθηκε στις ποιοτικές μεταβολές του χρώματος του ασυσκευάστου φρεσκοκομμένου μαρουλιού κατά τη διάρκεια της συντήρησης.

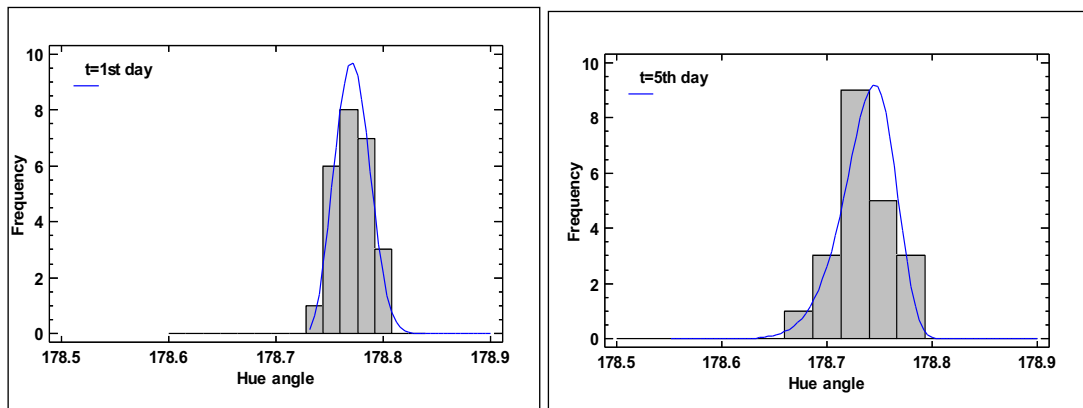
Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται η μέση τιμή των χρωματικών παραγόντων ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*/b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^*$  και  $\Delta E^*$ ) μαζί με την τυπική απόκλιση και τις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD) της μεθόδου Fisher. Οι μέσες τιμές  $L^*$  όσον αφορά τους χειρισμούς με UV-C κυμάνθηκαν μεταξύ  $41.07 \pm 8.9$  έως  $44.35 \pm 7.3$  και οι αντίστοιχες τιμές για τους χειρισμούς με συνδυαστική χρήση UV-C+O<sub>3</sub> μεταξύ  $41.26 \pm 8.5$  και  $42.25 \pm 9.7$ . Σε όλους τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν οι μέσες τιμές  $L^*$  ήταν σημαντικά αυξημένες σε σύγκριση με τα δείγματα του μάρτυρα (σε ένα εύρος 7.4-16.0%), όπου οι μέσες τιμές  $L^*$  ήταν  $38.24 \pm 7.7$  (βλ. Πίνακα 10), γεγονός που δείχνει ότι τα επεξεργασμένα δείγματα μαρουλιού έχασαν μέρος του σκούρου πράσινου χρώματός τους. Οι μικρές μεταβολές στη χροιά (βλ. Πίνακα 10) οφείλονται κυρίως στη σύντομη περίοδο συντήρησης (συνολικά 5 ημέρες), δεδομένου ότι ο στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση των συγκεκριμένων χειρισμών στην ποιότητα του φρεσκοκομμένου μαρουλιού που αποθηκεύτηκε χωρίς συσκευασία σε ψυκτικό θάλαμο και όχι τη γνωστή συμπεριφορά κατά την παρατεταμένη ψυχρή αποθήκευση πράσινων λαχανικών (Xanthopoulos κ.ά., 2016). Η στατιστική ανάλυση κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η χροιά των δειγμάτων του μάρτυρα διέφερε σημαντικά από αυτή των επεξεργασμένων δειγμάτων (βλ. πίνακα 10), εκτός από αυτή για τα δείγματα του χειρισμού UV (30s), η οποία ήταν η μικρότερη χρησιμοποιούμενη πυκνότητα ροής UV ( $0.41 \text{ kJ/m}^2$ ). Επίσης, ο δείκτης  $a^*/b^*$  έδωσε ενδιαφέροντα αποτελέσματα, καθώς σε όλες τις επεξεργασίες οι εκτιμώμενοι λόγοι ήταν αρνητικοί, γεγονός που υποδηλώνει ότι έλαβε χώρα κιτρίνισμα των δειγμάτων, καθώς το  $-a^*$  αντιστοιχεί σε πρασινωπό χρώμα και το  $b^*$  σε κιτρινωπό. Οι τιμές του κορεσμού σύμφωνα με τον Πίνακα 7 δεν έδειξαν αξιολογικές μεταβολές. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στις χαμηλές δόσεις O<sub>3</sub> ή/και στις χαμηλές ροές υπερϊώδους ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα.

Η χροιά ( $h^*$ ) εξετάστηκε περαιτέρω, προσαρμόζοντας τις υπολογιζόμενες τιμές  $h^*$  (3 σημεία  $\times$  3 δείγματα  $\times$  3 επαναλήψεις=27 σημεία δειγματοληψίας ανά ημέρα συντήρησης), κατά τη διάρκεια της περιόδου των 5 ημερών της συντήρησης στην τριπαραμετρική κατανομή Weibull και στη συνέχεια ο παραγόμενος παράγοντας σχήματος ( $\beta$ ) συσχετίστηκε με την υποβάθμιση του χρώματος κατά τη διάρκεια της ψυχοσυντήρησης του κομμένου μαρουλιού. Σε όλους τους εξεταζόμενους χειρισμούς όσον αφορά την εφαρμογή ακτινοβολίας UV-C και τη συνδυαστική εφαρμογή UV-C και  $O_3$ , οι δοκιμές προσαρμογής (goodness-of-fit tests) για τις τιμές  $h^*$  έδειξαν ότι η μικρότερη τιμή P-value μεταξύ των χειρισμών που πραγματοποιήθηκαν ήταν  $\leq 0.05$ , επομένως δεν μπορούσε να απορριφθεί η υπόθεση ότι η τιμή  $h^*$  προέρχεται από μια κατανομή Weibull σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα της τιμής της χροιάς  $h^*$ , όσον αφορά την επεξεργασία UV (30 s)+ $O_3$  (5 mg/L), προσαρμοσμένα στην κατανομή Weibull (Εξίσωση 7) στην αρχή ( $t=1$ η ημέρα) και στο τέλος ( $t=5$ η ημέρα) της συντήρησης των δειγμάτων. Παρόμοια ιστογράμματα χροιάς παράχθηκαν και για τους άλλους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν.

**Πίνακας 10:** Χρωματικές παράμετροι που εξετάστηκαν στα δείγματα του κομμένου μαρουλιού. Παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις μαζί με τις ελάχιστες διαφορές της μεθόδου Fisher μεταξύ των μέσων τιμών.

Χειρισμοί	Χρωματικές παράμετροι						
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*/b^*$	Chroma ( $C^*$ )	hue ( $h^*$ )	$\Delta E^*$
Control	38.24 $\pm$ 7.7 <sup>a</sup>	-8.54 $\pm$ 1.9 <sup>b</sup>	24.32 $\pm$ 5.1 <sup>ab</sup>	-0.35 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	25.76 $\pm$ 5.3 <sup>ab</sup>	178.78 $\pm$ 0.23 <sub>ab</sub>	6.31 $\pm$ 5.7 <sup>ab</sup>
$O_3$ (5 mg/L)	41.76 $\pm$ 8.1 <sup>b</sup>	-8.96 $\pm$ 1.9 <sup>ab</sup>	26.65 $\pm$ 4.8 <sup>dc</sup>	-0.34 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	28.14 $\pm$ 4.9 <sup>dc</sup>	178.75 $\pm$ 0.06 <sub>b</sub>	5.64 $\pm$ 4.6 <sup>ab</sup>
UV(30 s)	42.94 $\pm$ 9.3 <sup>bc</sup>	-8.05 $\pm$ 2.4 <sup>c</sup>	25.27 $\pm$ 6.7 <sup>bc</sup>	-0.32 $\pm$ 0.11 <sup>d</sup>	26.47 $\pm$ 7.0 <sup>abc</sup>	178.73 $\pm$ 0.23 <sub>a</sub>	7.59 $\pm$ 5.7 <sup>b</sup>
UV(30 s)+ $O_3$ (5 mg/L)	41.93 $\pm$ 8.1 <sup>b</sup>	-8.61 $\pm$ 1.7 <sup>b</sup>	25.15 $\pm$ 4.7 <sup>bc</sup>	-0.34 $\pm$ 0.05 <sup>ab</sup>	26.62 $\pm$ 4.8 <sup>bc</sup>	178.76 $\pm$ 0.05 <sub>b</sub>	6.34 $\pm$ 5.4 <sup>ab</sup>
UV(60 s)	41.07 $\pm$ 8.9 <sup>b</sup>	-8.71 $\pm$ 1.8 <sup>b</sup>	23.80 $\pm$ 4.3 <sup>a</sup>	-0.37 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	25.37 $\pm$ 4.6 <sup>a</sup>	178.80 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	5.20 $\pm$ 4.4 <sup>a</sup>
UV(120 s)	44.35 $\pm$ 7.3 <sup>c</sup>	-9.32 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>	28.02 $\pm$ 4.3 <sup>f</sup>	-0.33 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup>	29.56 $\pm$ 4.4 <sup>f</sup>	178.75 $\pm$ 0.05 <sub>b</sub>	5.20 $\pm$ 4.5 <sup>a</sup>
UV(60 s)+ $O_3$ (5 mg/L)	42.25 $\pm$ 9.7 <sup>b</sup>	-8.99 $\pm$ 1.9 <sup>ab</sup>	25.67 $\pm$ 4.7 <sup>cd</sup>	-0.35 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup>	27.24 $\pm$ 4.8 <sup>cd</sup>	178.77 $\pm$ 0.05 <sub>b</sub>	5.73 $\pm$ 4.5 <sup>ab</sup>
UV(120 s)+ $O_3$ (5 mg/L)	41.26 $\pm$ 8.5 <sup>b</sup>	-8.86 $\pm$ 2.2 <sup>ab</sup>	27.53 $\pm$ 5.3 <sup>ef</sup>	-0.32 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	28.96 $\pm$ 5.6 <sup>ef</sup>	178.74 $\pm$ 0.05 <sub>b</sub>	5.95 $\pm$ 4.4 <sup>ab</sup>
$\pm$ LSD	$\pm$ 1.01	$\pm$ 0.24	$\pm$ 0.60	$\pm$ 0.01	$\pm$ 0.63	$\pm$ 0.02	$\pm$ 1.03

Τιμές με τον ίδιο εκθέτη στην ίδια στήλη είναι σημαντικά διαφορετικές ( $P \leq 0.05$ ), σύμφωνα με τις ελάχιστες διαφορές του Fisher test.

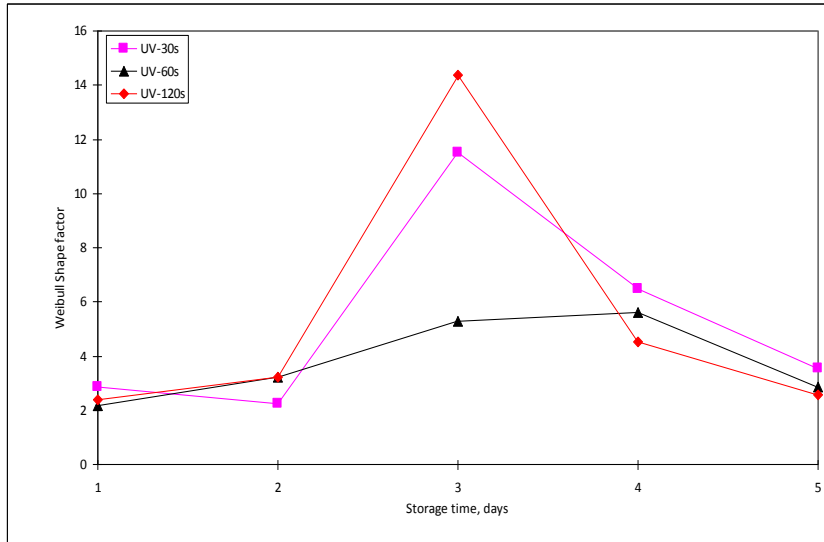


**Σχήμα 7:** Ιστογράμματα της εκτιμώμενης χροιάς  $h^*$  (hue angle) για τον χειρισμό UV (120 s)+O<sub>3</sub> (5 mg/L) σε δείγματα κομμένου μαρουλιού την 1<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup> ημέρα συντήρησης. Κάθε ιστόγραμμα περιέχει  $n=3$  σημεία  $\times$  3 δείγματα  $\times$  3 επαναλήψεις= 27 σημεία δειγματοληψίας.

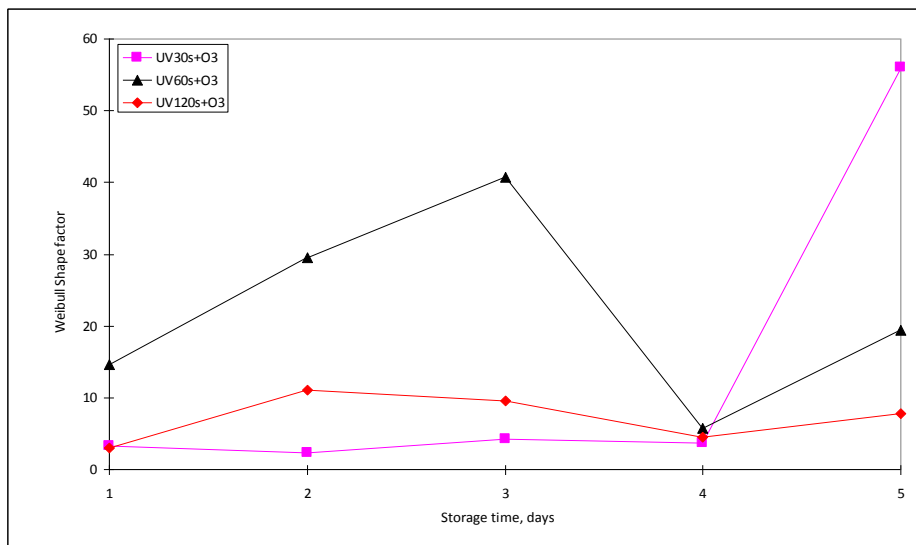
Στα Σχήματα 8 και 9 παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή του παράγοντα σχήματος ( $\beta$ ) για τους χειρισμούς όπου η ακτινοβολία UV-C χρησιμοποιήθηκε μόνη της και σε συνδυασμό με O<sub>3</sub>, αντίστοιχα. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο παράγοντας σχήματος ήταν μεγαλύτερος από τη μονάδα ( $\beta \gg 1$ ), υποδεικνύοντας ότι ο ρυθμός αποικοδόμησης του χρώματος αυξάνεται με το χρόνο. Γενικά, όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του  $\beta$ , τόσο ταχύτερη είναι η υποβάθμιση του χρώματος, γεγονός που είναι πιο έντονο στους χειρισμούς με συνδυαστική χρήση ακτινοβολίας UV-C και O<sub>3</sub>. Περαιτέρω ανάλυση των σχημάτων 8 και 9 έδειξε ότι ο παράγοντας σχήματος αυξήθηκε μεταξύ της 2<sup>ης</sup> και της 3<sup>ης</sup> ημέρας της συντήρησης, μια απόκριση που είναι πιο εμφανής στις μεταχειρίσεις με UV-C και σε μικρότερο βαθμό στις συνδυαστικές επεξεργασίες με UV-C και O<sub>3</sub>. Η αύξηση του συντελεστή σχήματος, προς την 3<sup>η</sup> ημέρα συντήρησης, οφείλεται στη συνεχιζόμενη υποβάθμιση του χρώματος του συντηρούμενου κομμένου μαρουλιού. Αυτή η απόκριση ήταν πιο έντονη στην επεξεργασία με UV (60 s)+O<sub>3</sub>, όπου η τιμή  $\beta$  ήταν δύο έως τρεις τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από τους άλλους χειρισμούς, γεγονός που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Μετά την 3<sup>η</sup> ημέρα συντήρησης, η τιμή  $\beta$  μειώθηκε πιθανώς λόγω επιβράδυνσης της υποβάθμισης του χρώματος. Την τελευταία ημέρα ( $t=5^{\text{η}}$  ημέρα) στους συνδυαστικούς χειρισμούς με UV-C και O<sub>3</sub>, η τιμή  $\beta$  αυξήθηκε και πάλι, πιθανώς λόγω της φυσιολογικής υποβάθμισης που ευνοήθηκε από τη συνδυασμένη επίδραση των χειρισμών με UV-C και O<sub>3</sub>.

Οι Bermúdez-Aguirre και Barbosa-Cánovas (2013) ανέφεραν ότι ορισμένες αλλαγές στο χρώμα των προϊόντων μπορούν να ελεγχθούν εάν ο χρόνος έκθεσης ή/και η συγκέντρωση του απολυμαντικού παράγοντα διατηρούνται όσο το δυνατόν χαμηλότερα για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών χωρίς να διακυβεύεται η συνολική ποιότητα του προϊόντος. Σε αυτό το σημείο, οι Bermúdez-Aguirre και Barbosa-Cánovas (2013) και Birmpa κ.ά. (2013), διεξάγοντας πειράματα ακτινοβολίας με χρήση UV-C και O<sub>3</sub> σε φρέσκο μαρούλι, χρησιμοποιώντας μεταβλητή ροή UV-C (έως 60 λεπτά) και συγκέντρωση O<sub>3</sub> 5 mg/L έως 15 λεπτά, ανέφεραν ότι η ολική μεταβολή του χρώματος  $\Delta E^*$  και ο κορεσμός  $C^*$  κυμαίνονταν

μεταξύ 4.86-13.45 και 18.23-22.81 αντίστοιχα. Στην παρούσα εργασία, οι τιμές των παραγόντων ΔE\* και C\* σύμφωνα με τον πίνακα 7, είχαν παρόμοιο εύρος που ήταν 5.20-7.59 και 25.37-29.56 αντίστοιχα. Οι Bermudez-Aguirre και Barbosa-Cánovas (2013) και Birmpa κ.ά., (2013) επεσήμαναν ότι υψηλότερη πυκνότητα UV-C και O<sub>3</sub> σε μεγαλύτερη συγκέντρωση και δόσεις μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικές στην απολύμανση, αλλά προκαλούν σημαντική οπτική υποβάθμιση. Οι Ölmez και Akbas (2009), σε πειράματα που διεξήγαγαν σε μαρούλια, εφάρμοσαν συγκέντρωση O<sub>3</sub>>2.5 mg/L και παρατήρησαν υποβάθμιση της συνολικής οπτικής ποιότητας, ωστόσο όταν τα δείγματα επεξεργάστηκαν με 4 mg/L και αποθηκεύτηκαν για 5 ημέρες, παρατήρησαν ότι ορισμένα φυλλώδη μέρη ανέπτυξαν ημιδιαφανή εμφάνιση. Οι Ölmez και Akbas (2009) απέδωσαν αυτή την αντίδραση στην υψηλή οξειδωτική δύναμη του O<sub>3</sub> στον ιστό του μαρουλιού, η οποία εκκινεί την ενζυμική δραστηριότητα της αμμωνιακής λυάσης της φαινυλαλανίνης (PAL). Παρόμοια ευρήματα παρατηρήθηκαν όταν το μαρούλι iceberg υποβλήθηκε σε επεξεργασία με O<sub>3</sub> μεταξύ 3 και 10 mg/L (Koseki and Isobe, 2006). Έτσι, η προαναφερθείσα αύξηση του δείκτη φωτεινότητας και λευκότητας, ήταν αναμενόμενη στα φύλλα του μαρουλιού τα οποία αργότερα έγιναν ημιδιαφανή, αφού είχαν υποστεί επεξεργασία με συγκέντρωση αερίου O<sub>3</sub> 5 mg/L για 15 λεπτά σύμφωνα με τους Bermudez-Aguirre και Barbosa-Cánovas (2013). Στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε η ίδια αντίδραση όσον αφορά τις τιμές L\* όπως είχε αναλυθεί προηγουμένως. Οι τελευταίοι συγγραφείς ανέφεραν ότι η εφαρμοζόμενη επεξεργασία με UV-C για λιγότερο από 45 λεπτά, δεν επηρέασε σημαντικά την ολική εμφάνιση. Οι Cordero κ.ά. (2019) ανέφεραν ότι η επεξεργασία με UV-C σε φρεσκοκομμένο μαρούλι Iceberg σε ροές υψηλότερες από 0.5 kJ/m<sup>2</sup> (60-300 s) προκάλεσε οξειδωτικό αποχρωματισμό και αυξημένο ρυθμό αναπνοής λόγω φυσιολογικής καταπόνησης στους φυτικούς ιστούς. Οι Esua κ.ά. (2020) εξετάζοντας μελέτες σχετικά με τις επεξεργασίες UV-C με χαμηλή πυκνότητα ροής, 0.00176-1.0 kJ/m<sup>2</sup> και την επίδρασή τους στην ποιότητα φρούτων και λαχανικών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πυκνότητα της ακτινοβολίας UV-C επηρεάζει σε μεταβλητό βαθμό την παραγωγή βιοδραστικών ενώσεων, την ενζυμική δραστηριότητα, τη διάρκεια ζωής των προϊόντων και φυσικά την αποικοδομητική δράση στις βιολογικές διεργασίες που ρυθμίζουν τις πρωτεΐνες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις αλλοιώσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της μετασυλλεκτικής ζωής.



**Σχήμα 8:** Χρονική μεταβολή του συντελεστή σχήματος Weibull ( $\beta$ ) όσον αφορά τη χροιά του φρεσκοκομμένου μαρουλιού που υποβλήθηκε σε επεξεργασία με UV (30 s), UV (60 s) και UV (120 s). Κάθε σημείο ( $\beta$ ) προέκυψε από την προσαρμογή όλων των σημείων δειγματοληψίας στην κατανομή Weibull (3 σημεία  $\times$  3 δείγματα  $\times$  3 επαναλήψεις= 27 σημεία δειγματοληψίας ανά ημέρα αποθήκευσης).



**Σχήμα 9:** Χρονική μεταβολή του συντελεστή σχήματος Weibull ( $\beta$ ) όσον αφορά τη χροιά του φρεσκοκομμένου μαρουλιού που υποβλήθηκε σε επεξεργασία με UV(30 s)+O<sub>3</sub>, UV(60 s)+O<sub>3</sub>, UV(120 s)+O<sub>3</sub>. Κάθε σημείο ( $\beta$ ) προέκυψε από την προσαρμογή όλων των σημείων δειγματοληψίας στην κατανομή Weibull (3 σημεία $\times$ 3 δείγματα $\times$  3 επαναλήψεις=27 σημεία δειγματοληψίας ανά ημέρα αποθήκευσης).

#### 4. Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι οι εφαρμογές O<sub>3</sub>, UV-C και ο συνδυασμός τους έδωσαν καλά αποτελέσματα όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά με τη χρήση UV-C πυκνότητας ροής <1.65 kJ/m<sup>2</sup> και συγκέντρωση O<sub>3</sub> (5 mg/L για 5 λεπτά). Γενικά, οι μεμονωμένες και συνδυαστικές επεξεργασίες παρουσίασαν μικρότερη απώλεια μάζας καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης των 5 ημερών σε σύγκριση με τα δείγματα του μάρτυρα (μη επεξεργασμένα). Ειδικότερα, η συνδυαστική επεξεργασία UV-C με O<sub>3</sub> παρουσίασε 20% μικρότερη απώλεια μάζας (μέγιστες τιμές) σε σύγκριση με τους άλλους χειρισμούς, συμπεριλαμβανομένων των δειγμάτων του μάρτυρα.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι προκλήθηκε αύξηση του ρυθμού αναπνοής από τις μεμονωμένες και τις συνδυαστικές επεξεργασίες σε σχέση με τα δείγματα του μάρτυρα, με την εφαρμογή ακτινοβολίας UV-C για 120 s να παρουσιάζει τον υψηλότερο αναπνευστικό ρυθμό καθόλη τη διάρκεια της συντήρησης. Ακόμη, η εφαρμογή τόσο της ακτινοβολίας UV-C όσο και του αέριου όζοντος είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά μείωσε το ρυθμό διαπνοής των δειγμάτων σε σχέση με εκείνα του μάρτυρα. Η μεγαλύτερη μείωση παρουσιάστηκε κατά την εφαρμογή ακτινοβολίας UV-C για 120 s σε συνδυασμό με εφαρμογή αέριου όζοντος συγκέντρωσης 5 mg/L και αντιστοιχεί σε ποσοστό 45.32%.

Η δοκιμασθείσα πυκνότητα ροής UV-C <1.65 kJ/m<sup>2</sup> και η συγκέντρωση O<sub>3</sub> (5 mg/L για 5 λεπτά) έδωσαν καλή ποιότητα υφής όσον αφορά το βαθμό τραγανότητας και την ενέργεια (έργο) που δαπανήθηκε. Η τραγανότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων βρέθηκε να αυξάνεται κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 35% σε σύγκριση με τα δείγματα του μάρτυρα, ιδίως στη συνδυασμένη επεξεργασία με UV-C και O<sub>3</sub>. Τέλος, παρατηρήθηκε περιορισμένη υποβάθμιση του χρώματος, καθώς η πυκνότητα ροής UV-C και η συγκέντρωση του O<sub>3</sub> διατηρήθηκαν χαμηλότερα από τα όρια (για UV-C < 5 kJ/m<sup>2</sup>, O<sub>3</sub> < 5 mg/L) που έχουν δημοσιευθεί στη βιβλιογραφία, πέραν των οποίων έχει αναφερθεί ότι παρατηρείται σημαντική υποβάθμιση του χρώματος.

## 5. Βιβλιογραφία

- Allende, A., & Artés, F. (2003). UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Research International*, 36(7), 739-746.
- Allende, A., McEvoy, J. L., Luo, Y., Artes, F., & Wang, C. Y. (2006). Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce. *Food microbiology*, 23(3), 241-249.
- Álvarez, M. D., Paniagua, J., & Herranz, B. (2020). Assessment of the miniature Kramer Shear Cell to measure both solid food and bolus mechanical properties and their interplay with oral processing behavior. *Foods*, 9(5), 613.
- Artés, F., Gómez, P., Aguayo, E., Escalona, V., & Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 287-296.
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 369-389.
- Barth, M., Hankinson, T. R., Zhuang, H., & Breidt, F. (2009). Microbiological spoilage of fruits and vegetables. In *Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages* (pp. 135-183). Springer, New York, NY.
- Bermúdez-Aguirre, D., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2013). Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone. *Food Control*, 29(1), 82-90.
- Birmpa, A., Sfika, V., & Vantarakis, A. (2013). Ultraviolet light and ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *International journal of food microbiology*, 167(1), 96-102.
- Chauhan, O. P., Raju, P. S., & Bawa, A. S. (2007). Pre-cut fruits and vegetables: Pre- and post harvest considerations. *Fresh Produce*, 1(2), 82-93.
- Collazo Cordero, C., Noguera, V., Aguiló-Aguayo, I., Abadias i Sero, M., Colás Medà, P., Nicolau Lapeña, I., & Viñas Almenar, I. (2019). Assessing water-assisted UV-C light and its combination with peroxyacetic acid and *Pseudomonas graminis* CPA-7 for the inactivation and inhibition of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* in fresh-cut 'Iceberg' lettuce and baby spinach leaves. *International Journal of Food Microbiology*, 2019, vol. 297, p. 11-20.
- Dean, J.F.D. (2018). Lignin Analysis. In: *Methods in Plant Biochemistry and Molecular Biology*, (Ed. Dashek, W.V.) CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton FL., doi: 10.1201/9781351074483.



- Ergun, M., (2006). Fresh-cut Physiology and Factors Contributing to the Quality of Fresh-cut Produce. *KSU. Journal of Science and Engineering*. 9(2): 164-169.
- Escalona, V. H., Aguayo, E., Martínez-Hernández, G. B., & Artés, F. (2010). UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biology and Technology*, 56(3), 223-231.
- Esua, O. J., Chin, N. L., Yusof, Y. A., & Sukor, R. (2020). A review on individual and combination technologies of UV-C radiation and ultrasound in postharvest handling of fruits and vegetables. *Processes*, 8(11), 1433.
- Fan, L., & Song, J. (2008). Microbial quality assessment methods for fresh-cut fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Rev*, 4(3), 1-9.
- Fang, Y., & Wakisaka, M. (2021). A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies. *Agriculture*, 11(10), 992.
- Ferrante, A., Incrocci, L., & Serra, G. (2008). Quality changes during storage of fresh-cut or intact Swiss chard leafy vegetables. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6, 60-62.
- Garcia, E., & Barrett, D. M. (2002). Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. *Fresh-cut fruits and vegetables*, 267-304.
- Giannakourou, M. C., & Tsironi, T. N. (2021). Application of processing and packaging hurdles for fresh-cut fruits and vegetables preservation. *Foods*, 10(4), 830.
- Gil Muñoz, M., Allende, A., & Selma, M. V. (2010). Treatments to Assure Safety of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In: Martin-Belloso, O., & Fortuny, R. S. (eds.) *Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing* (ch. 8). CRC Press LLC, USA.
- Glowacz, M., Colgan, R., & Rees, D. (2015). The use of ozone to extend the shelf-life and maintain quality of fresh produce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(4), 662-671.
- Hernandez G. (2007): Hue. Internet address: <http://www.georgehernandez.com/h/xzMisc/Color/Hue.asp>
- International Organization for Standardization (ISO) (2008). International Standard 5492. In: *Sensory Analysis-Vocabulary*; ISO: Geneva, Switzerland.
- Keitz, H. A. E. (1971). *Light Calculations and Measurements: An introduction to the system of quantities and units in light-technology and to photometry*. Macmillan International Higher Education.
- Koseki, S., & Isobe, S. (2006). Effect of ozonated water treatment on microbial control and on browning of iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of food protection*, 69(1), 154-160.

- Llovera, A. (2008). The Feasibility of Producing Vacuum-Packed Fermented Vegetable Products. PhD Thesis. Dublin Institute of Technology.
- Martínez-Sánchez, A., Tudela, J. A., Luna, C., Allende, A., & Gil, M. I. (2011). Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 34-42.
- Miller, F.A., Silva, C.L.M. and Brandão, T.R.S. (2013). A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation. *Food Engineering Reviews*, 5, 77-106. doi: 10.1007/s12393-013-9064-5.
- Mitropoulos, D., Lamprinos, G. and Manolopoulou, H. (2000). A portable setup for fruit respiration measurement. In: Gil, M. and Artes, F.C. (Eds). *Improving postharvest technologies of fruits, vegetables and ornamentals*, 926-931. Murcia, Spain: International Institute of Refrigeration.
- Munsellcolor (2013): Time for a Munsell Revival. Internet address: <http://munsell.com/color-blog/time-for-a-munsell-revival/>
- Nath, A. and Chattopadhyay, P.K. (2007). Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 80(4), 1282-92. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.09.023.
- Nath, A., Mukhim, K., Swer, T., Dutta, D., Verma, N., Deka, B. C., & Gangwar, B. (2014). A Review on Application of Ozone in the Food Processing and Packaging. *Journal of Food Product Development and Packaging* 1, 07-21.
- OHWEB (2013): CIELab-CIELCH. Internet address: <http://www.blog.ohweb.com.ar/wp-content/LAB-y-LCH.png>
- Ölmez, H., & Akbas, M. Y. (2009). Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 487-494.
- OPI (2013). Color differences. Internet address: [http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI\\_ang\\_M07\\_C02/co/Contenu\\_09.html](http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI_ang_M07_C02/co/Contenu_09.html)
- Paciulli, M., Ganino, T., Pellegrini, N., Rinaldi, M., Zaupa, M., Fabbri, A., & Chiavaro, E. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables—Part I. Structure, texture and antioxidant capacity. *Food Research International*, 74, 329-337.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and bioprocess technology*, 6(1), 36-60.
- Rinne, H. (2009). *The Weibull Distribution: A Handbook*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Robinson, J.E., Browne, K.M. and Burton, W.G. (1975). Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Annals of Applied Biology*, 81, 399-408, doi: 10.1111/j.1744-7348.1975.tb01656.x

- Saltveit, M.E. (1997). A summary of CA and MA requirements and recommendations for harvested vegetables. In: Saltveit, M.E. (Ed.) 7th International Controlled Atmosphere Research Conference, University of California, Davis, July 13-18, 1997, 4, 98-117. University of California Davis, CA.
- Sarron, E., Gadonna-Widehem, P., & Aussenac, T. (2021). Ozone treatments for preserving fresh vegetables quality: A critical review. *Foods*, 10(3), 605.
- Seedsnpots (2022). Lettuce Romaine pack of 50 seeds Internet address: <https://seedsnpots.com/product/lettuce-romaine/>
- Siddiqui, M. W., Chakraborty, I., Ayala-Zavala, J. F., & Dhua, R. S. (2011). Advances in minimal processing of fruits and vegetables: a review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 70, 823-834.
- Tapia, M. R., Gutierrez-Pacheco, M. M., Vazquez-Armenta, F. J., González Aguilar, G. A., Ayala Zavala, J. F., Rahman, M. S., & Siddiqui, M. W. (2015). Washing, peeling and cutting of fresh-cut fruits and vegetables. In: Siddiqui, M. W., & Rahman, M. S. (Eds.). *Minimally processed foods: Technologies for safety, quality, and convenience (ch.4)*. Food Engineering Series. Springer, Cham.
- Wang, D., Chen, L., Ma, Y., Zhang, M., Zhao, Y., & Zhao, X. (2019). Effect of UV-C treatment on the quality of fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root. *Food chemistry*, 278, 659-664.
- Xanthopoulos, G. Manolopoulou, H. Lambrinos, G. (2016). Comparative kinetics study of chlorophyll and colour degradation for three leafy vegetables. *International Journal of Agricultural Science*, 1, 15-26
- Αλειφέρης Ν.Π. (2016). Μελέτη της εξέλιξης των ποιοτικών χαρακτηριστικών ψυχο-συντηρούμενων μήλων ‘Granny Smith’ και ‘Golden Delicious’, που έχουν υποστεί ελάχιστη επεξεργασία, Πτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Λέτζου Δ. (2013). Επίδραση των συνθηκών συντήρησης στην ποιότητα τοματινίων “Iron Lobello”. Πτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μπίτζας Ε. (2020). Επίδραση διαφορετικών χειρισμών στον αναπνευστικό ρυθμό και την απώλεια μάζας ελάχιστα επεξεργασμένου μαρουλιού ποικιλίας Romaine. Πτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Σφακιωτάκης, Ε. (2004). Μετασυλλεκτική Φυσιολογία και Τεχνολογία Νωπών Οπωροκηπευτικών Προϊόντων, Εκδόσεις τυρο ΜΑΝ, σελ. 45,191-192,198
- Τεμπλαλέξης Χ. (2015). Μελέτη του αναπνευστικού ρυθμού και της διαπνοής αχλαδιών ποικιλίας ‘Κοντούλα’: Ημιεμπειρική και αναλυτική προσέγγιση, Πτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.